

Termos e Significados em análises espectrofotométricas UV-Visível

Radiação e Luz : A luz é uma forma de onda eletromagnética que atravessa o vácuo a uma velocidade de 3×10^{10} cm/seg. Ela é classificada em raios infravermelho (IV), visível (VIS) e ultravioleta (UV), de acordo com o comprimento de onda.

Comprimento de Onda: O comprimento de onda da luz é a distância entre duas cristas de onda, medida em direção à progressão de onda, usualmente expressa pelo símbolo λ . A unidade usada no UV e Visível é o nanômetro (nm) equivalente a 10^{-9} metro.

A luz comum é mistura de radiações de diferentes comprimentos de onda e pode ser dispersa por um monocromador em luz monocromática; cada uma delas com estreita faixa de comprimento de onda.

Cor: A luz visível é uma mistura de cores com vários comprimentos de onda entre 400 a 700 nm, idênticas às cores do arco íris.

Luzes com o comprimento de onda inferior a 400 nm (ultravioleta) ou superior a 700 nm (infravermelho) não podem ser observadas pelo olho humano.

Energia da Luz : A equação abaixo expressa as relações entre a energia (E) da luz e o seu comprimento de onda (λ):

$$E = \frac{ch}{\lambda}$$

onde (c) é a velocidade da luz e (h) a constante de Planck (6.624×10^{-27} erg.s)

Isto mostra que quanto mais curto for o comprimento de onda, maior será a energia de luz.

Portanto, a radiação ultravioleta possui maior energia que a visível e esta maior energia que a infravermelha.

Espectro ultravioleta – visível : Quando a luz incide sobre uma substância, uma parte é absorvida seletivamente pela substância conforme a sua estrutura molecular e atômica.

Todas as substâncias possuem um nível de energia que é uma característica específica das moléculas que a constituem.

Quando uma luz que tem energia igual à diferença entre a energia no estado fundamental (G) e a energia no estado excitado (E_1, E_2, \dots) incide sobre a substância, os elétrons no estado fundamental são transferidos para o estado excitado e parte da energia da luz correspondente àquele comprimento de onda é absorvida. Os elétrons excitados perdem energia pelo processo de radiação quente retornando ao estado fundamental inicial.

Um espectro de absorção é obtido quando deixamos diferentes luzes monocromáticas golpear sucessivamente uma substância e medimos o grau de absorção.

Os comprimentos de onda (nm) são plotados na abscissa e os graus de absorção (transmitância ou absorbância) na ordenada.

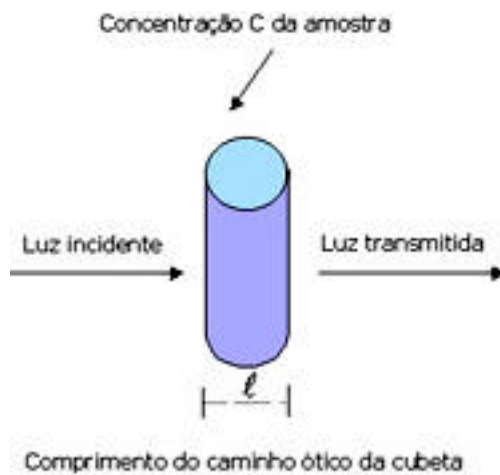
Análises colorimétricas: O objetivo da análise qualitativa é identificar uma substância ou encontrar os elementos que a compõem. A análise quantitativa é usada para determinar a quantidade (concentração) de um componente específico da amostra. A análise colorimétrica é uma técnica de determinação quantitativa, que compara a densidade de cor da amostra com a do padrão.

A amostra colorida tem características especiais de absorção e desta forma sua cor complementar é absorvida na região do visível. A quantidade ou concentração de uma substância pode ser determinada pela medição do quantum de cor complementar absorvido. Isto é o princípio das análises colorimétricas.

Se a amostra for incolor e transparente, adicionam-se reagentes que através de reações químicas produzem a cor. As substâncias assim coloridas podem ser medidas pela análise colorimétrica, ou se a amostra tiver características de absorção nas regiões do ultravioleta e infravermelho próximo, usa-se essa absorção em análises quantitativas.

Em sentido amplo essa técnica também é chamada de método colorimétrico.

Transmitância e Absorbância:



Comprimento do caminho ótico da cubeta
Figura 1: Lei de Lambert-Beer

A figura 1 mostra uma luz incidente de intensidade (I_0) que passa através da substância e transmite uma luz de intensidade (I_t), resultando na equação:

$$1) \quad I_t = I_0 10^{-\alpha C \ell}$$

Onde:

α = coeficiente de absorção

C = concentração da substância em absorção

ℓ = comprimento do caminho ótico da cubeta

A transmissão (T) é expressa por:

$$(2) \quad T = \frac{I_t}{I_o}$$

E a percentagem da transmitância (%T) por:

$$(3) \quad \%T = \frac{I_t}{I_o} \times 100$$

Das equações (1) a (3), obteremos:

$$T = 10^{-\alpha C \ell} \quad \text{e} \quad \%T = 10^{-\alpha C \ell} \times 100$$

Elas mostram que T e %T não são proporcionais à concentração (C).

Para obter a concentração através da transmitância ou da percentagem de transmitância é necessário fazer incômodos cálculos logarítmicos. Por isso, recorre-se a determinação da absorbância (A), expressa por:

$$(4) \quad A = \log_{10} T = \log_{10} \frac{1}{\frac{I_t}{I_o}} = \log_{10} 10^{\alpha C \ell} = \alpha C \ell$$

Isto significa que a absorbância (A) é proporcional a concentração (C) desde que o coeficiente de absorção (α) seja constante e o comprimento do caminho ótico sempre o mesmo. Portanto, nas análises quantitativas, onde desejamos obter a concentração da substância, é mais conveniente medir a absorbância do que a transmitância.

A figura 2 mostra o aspecto de absorção do permanganato de potássio em solução aquosa com cinco concentrações diferentes, registrados de 470 a 600 nm.

A amostra (1) tem 66mg/L de concentração. As demais (2),(3),(4) e (5) foram diluídas para 4/5 (0.8), 3/5 (0.6), 2/5 (0.4) e 1/5 (0.2) da concentração da primeira amostra, respectivamente.

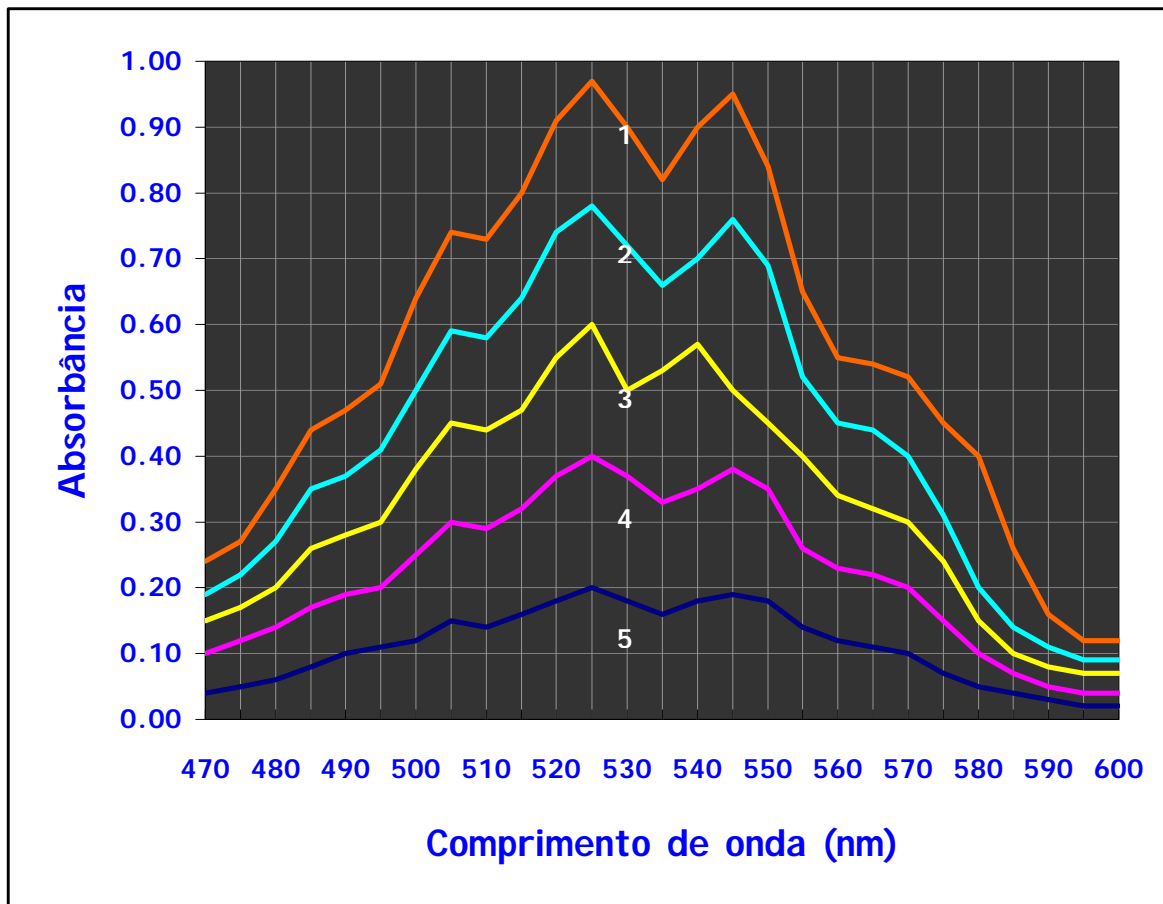


Figura 2: Espectro de absorção do Permanganato de Potássio

Curva de Calibração: A relação entre a concentração e a absorbância das cinco amostras a 525 nm é dada na figura 3. O resultado desse estudo é uma linha reta que passa pela origem (figura 3), onde também se pode verificar que as absorbâncias são linearmente proporcionais às concentrações. A curva da figura 2 chama-se curva de calibração.

Se a curva de calibração é determinada em um comprimento de onda de fraca absorção, por exemplo a 565 nm, como na figura 3, o gradiente da curva de calibração será pequeno, pois a mudança de absorção contra a concentração será menor que a 525 nm.

Para obter uma alta sensibilidade, é necessário seleccionar um comprimento de onda com coeficiente molar máximo.

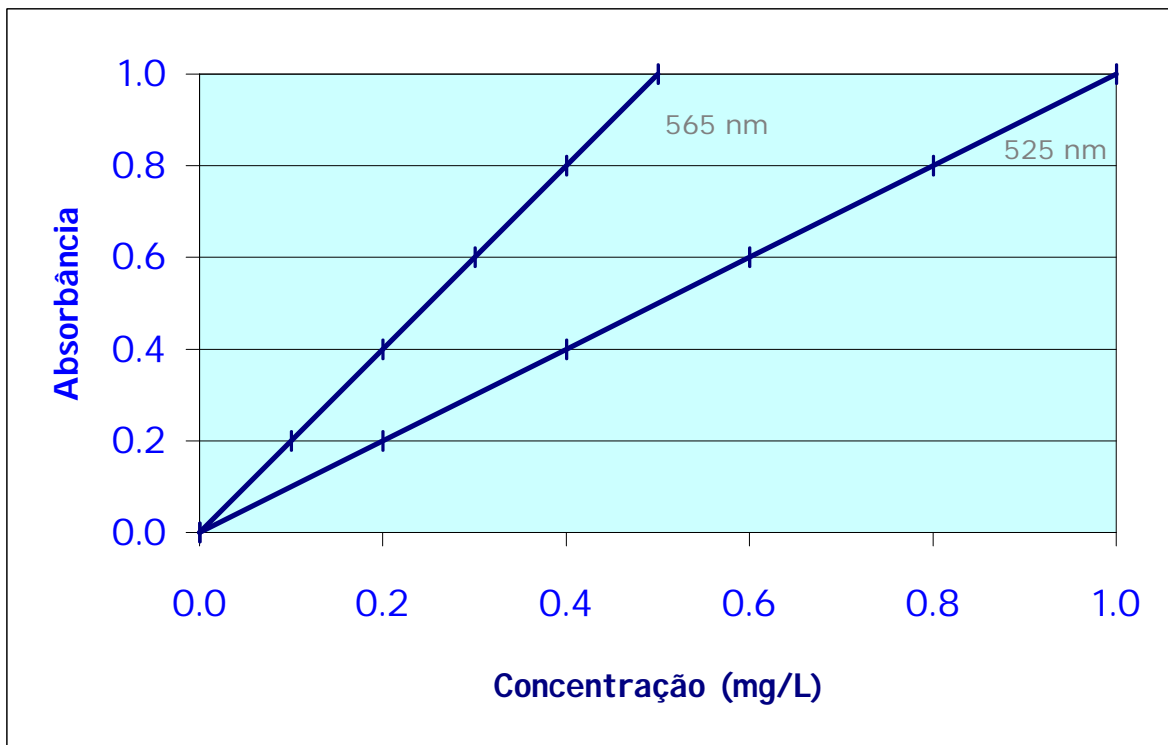


Figura 3: Curva de calibração para o permanganato de potássio

Geralmente, as curvas de calibração em altas concentrações são lineares, caso em que são dadas altas absorvâncias. Entretanto, as curvas de calibração apresentam um desvio para baixo, como mostra a figura 4. Esse desvio é provocado pela radiação extraviada (luz espúria), causada por pequenas porções de luz de outros comprimentos de onda, contidas na luz monocromática.

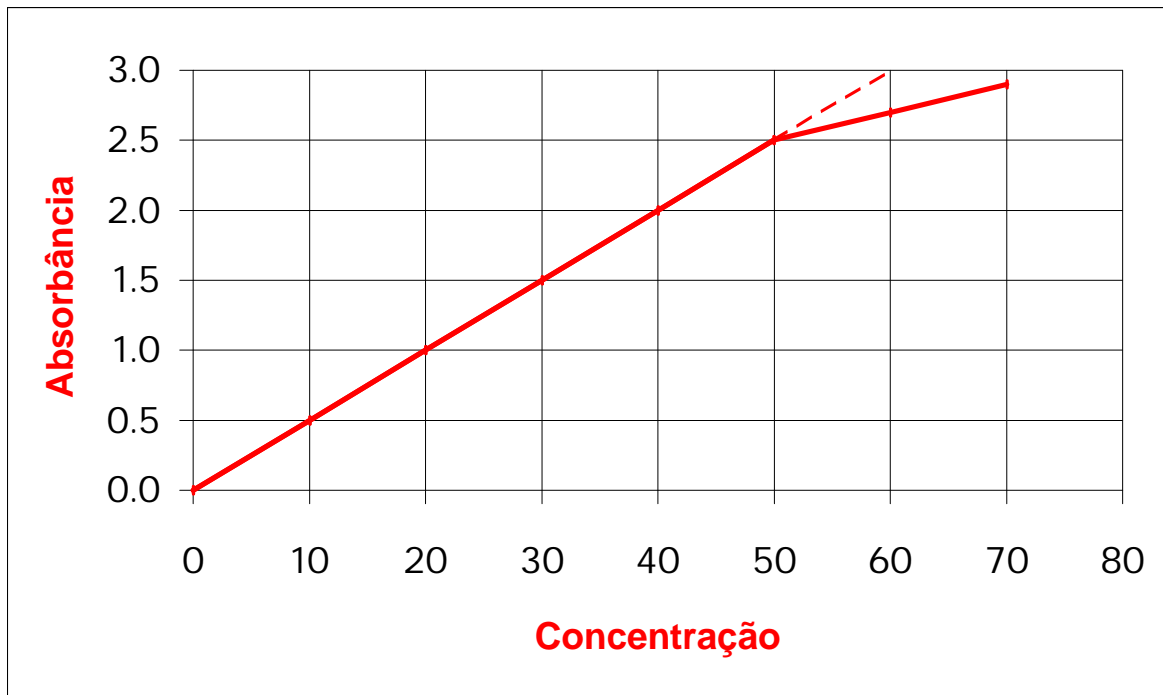


Figura 4 : Curva de Calibração em Gama de Alta Concentração

Exemplo: Uma luz monocromática de comprimento de onda λ_0 incide em uma amostra. Esta luz contém 0,1% de radiação extraviada. O valor em absorbância dado por essa amostra é de 2,0, o que corresponde a 1%T.

Neste caso, serão transmitidos somente 1% da luz incidente de λ_0 e toda a radiação extraviada, de maneira que o valor total de transmitância será 1,1%. A absorbância não será de 2,0 mas de 1,959. Isto mostra que 0,1% de luz espúria causará um erro de 2% em uma amostra com 2,0 de absorbância.

Quando as intensidades de luz monocromática e luz espúria, incidentes na amostra, são indicadas como $(I_0\lambda_0)$ e (I_0S) respectivamente, e a luz monocromática transmitida como (I_t) , a transmitância (T) é dada pela equação:

$$(5) \quad T = \frac{I_t + I_0S}{I_0 + I_0S}$$

visto a luz extraviada (I_0S) não ser absorvida totalmente pela amostra.

Quando $(I_0) > (I_0S)$ e $(I_t) > (I_0S)$, a equação (5) é representada como

$$T = \frac{I_t}{I_0}, \text{ satisfazendo plenamente a equação (2)}$$

Por outro lado, se a concentração da amostra for muito alta, desde que $(I_0) > (I_0S)$ e $(I_t) > (I_0S)$, a equação (5) é reescrita como:

$$(6) \quad T = \frac{I_t + I_0S}{I_0}$$

Essa equação mostra que a luz espúria (I_0S) não é negligenciável em gamas de altas concentrações. E quanto maior for a absorvância, maior será o desvio da curva de calibração para baixo.

Análises Quantitativas: Para determinar a concentração de uma amostra desconhecida, deverá ser construída uma curva de calibração idêntica à da figura 3, usando soluções padrão com concentrações conhecidas. Deverá ser selecionado o comprimento de onda que der o máximo de absorção que, no caso da figura 3, é o de 525 nm.

Assim, o valor de absorvância da amostra é lido no espectrofotômetro e a sua concentração é obtida na curva de calibração através do ponto de intersecção.

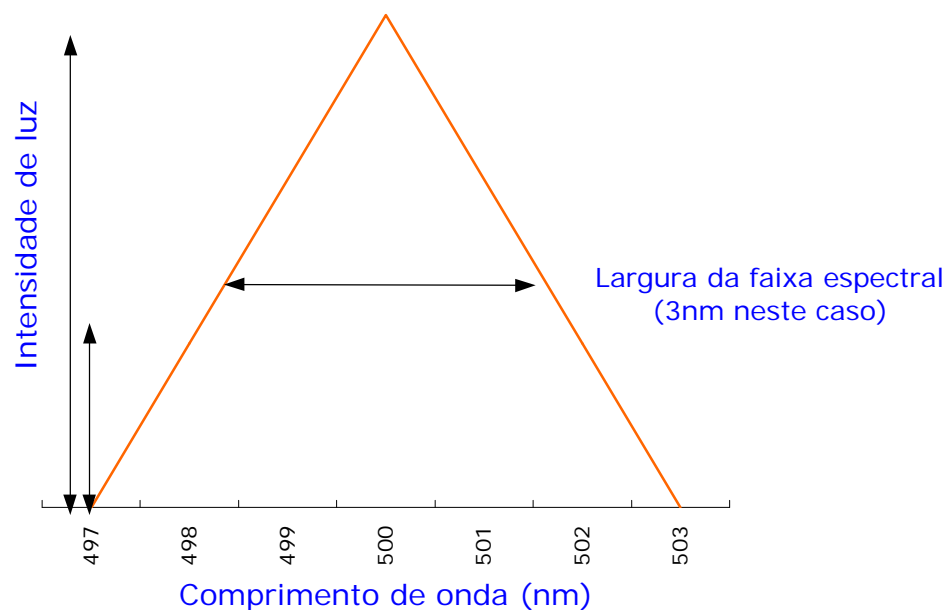
Lembramos, entretanto, que nem sempre é assegurada a linearidade das curvas de calibração quando trabalhamos com altas concentrações, devido ao efeito da luz espúria.

Largura da Faixa Espectral: A luz monocromática passando através do monocromador tem uma determinada largura de faixa e se a luz monocromática é chamada "500nm" por exemplo, ela certamente conterá radiações componentes do espectro de 497 a 503nm, no caso de uma largura de faixa de "3nm".

Uma radiação de 500nm indica intensidade máxima no centro da distribuição espectral da função de abertura triangular. A largura da metade da altura da distribuição espectral triangular, indicando metade da intensidade do pico no comprimento de onda central, chama-se "largura da faixa espectral" ou "faixa de passagem".

Diferentes larguras da faixa espectral dão valores diferentes de absorvância para a mesma amostra, devido ao coeficiente molar de absorção (α) da equação 4. Esses valores dependem do comprimento de onda e da largura da faixa.

Se uma luz monocromática de um mesmo comprimento de onda é usada com uma faixa de grande largura resultará um pequeno valor de absorvância. Isto acontece devido à presença de componentes de outros comprimentos de onda, diferentes do comprimento central, contidos em uma grande extensão.



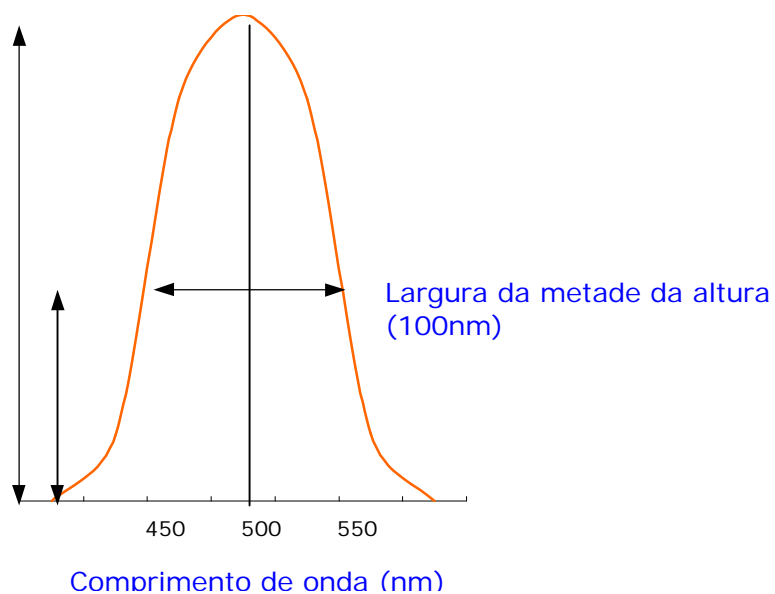
A melhor largura de faixa a ser selecionada no espectrofotômetro é a de 1/8 a 1/10 da metade da altura do espectro de absorção da amostra. A metade da altura da faixa de absorção é a largura medida na metade da altura do pico.

Na colorimetria, geralmente, é usada uma largura de faixa de 10nm, visto que a metade da altura da maioria das faixas de absorção é maior que 50 ou 100nm.

Se uma largura da faixa espectral é mais estreita que a largura da fenda selecionada, a energia da luz decrescerá e como resultado teremos um elevado nível de ruído de fundo e baixa precisão fotométrica.

A largura da faixa espectral é selecionada no espectrofotômetro, pela mudança da fenda. Nos espectrofotômetros onde as fendas de entrada e saída podem ser simultaneamente ajustadas a saída de energia da luz monocromática do monocromador, ela é proporcional ao quadrado da largura da fenda.

Duplicando a largura da fenda, a largura da faixa será duas vezes maior e a energia da luz do monocromador incrementada em quatro vezes.



Aparelhos para medir a absorção: O nome colorimetria originou-se da comparação das densidades de cores. O instrumento usado em colorimetria é o "Colorímetro" mas, atualmente estes instrumentos apenas são usados para medições na região visível. Para as regiões ultravioleta e visível usam-se espectrofotômetros.

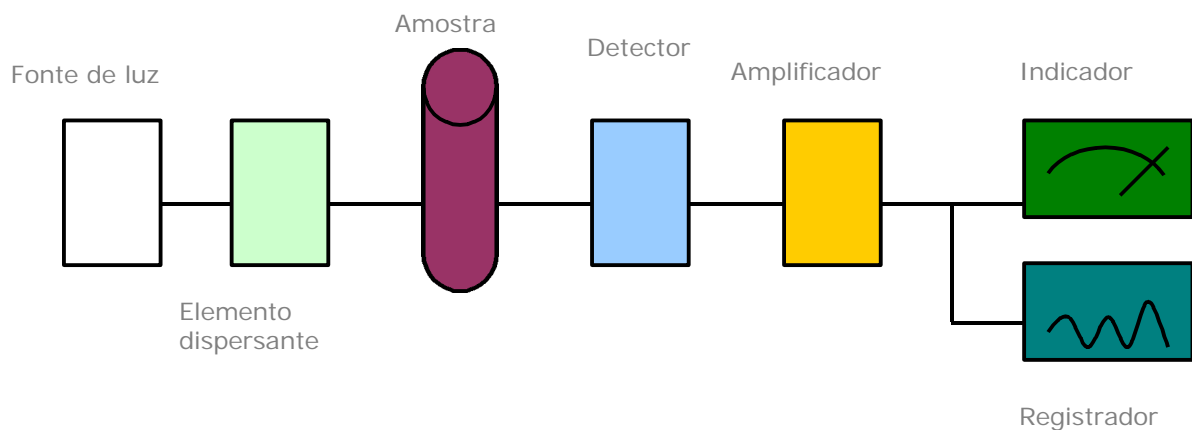


Figura 5: Esquema Básico de um Instrumento para Medir a Absorção

A luz branca da fonte de luz entra no elemento dispersante que a transforma em luz monocromática. A luz monocromática é transmitida através da cubeta ou tubo de medição localizado no compartimento de amostras e incide no detector, onde é convertida em sinal elétrico que será amplificado e exposto no medidor ou indicador.

Os instrumentos que medem a absorção de radiação por soluções são denominados colorímetros e espectrofotômetros. Embora não exista uma separação rígida entre ambas as classes, pode-se dizer que os colorímetros são os aparelhos mais simples para medir a absorção no visível, tais como os comparadores visuais e fotocolorímetros.

Os espectrofotômetros diferem dos colorímetros por serem aparelhos que utilizam a radiação proveniente de um determinado tipo de monocromador e, portanto, operam com uma faixa muito mais estreita do espectro.

Instrumentos de Feixe Simples e Feixe Duplo: Na análise química por absorção nunca se mede a intensidade absoluta do feixe de radiação. Ao invés disso, sempre é feita a comparação entre dois feixes, sendo um proveniente da passagem através do solvente puro e o outro através da solução-amostra.

Feixe Simples: A figura 6 mostra um sistema de feixe simples, onde se pode notar que um único feixe de luz do monocromador passa através do compartimento de amostras.

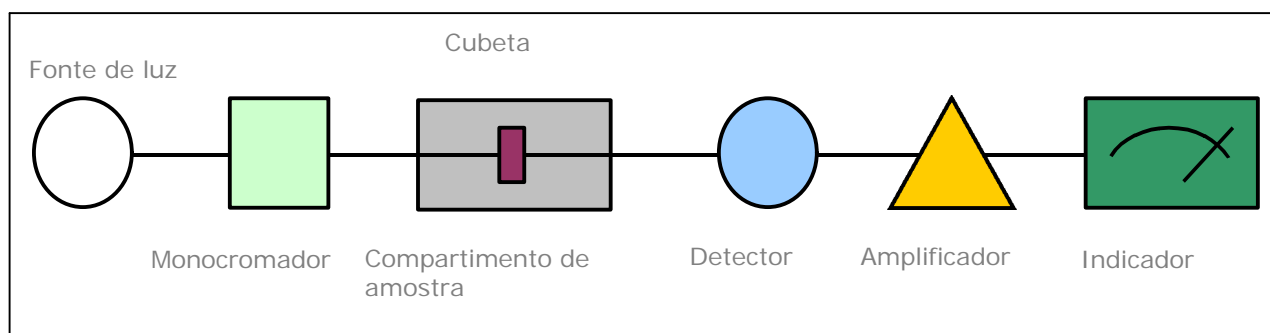


Figura 6: Sistema de Feixe Simples

Nos instrumentos de feixe simples ajusta-se o 0%T, posição em que nenhuma radiação incide no detector. Feito isto, ajusta-se o 100%T ou 0 de Absorbância colocando-se uma cubeta contendo o solvente puro no caminho da radiação. A cubeta com o solvente é trocada então pelas cubetas com as amostras e mede-se a transmitância. Devido à mudança de sensibilidade dos detectores, da intensidade da radiação e da flutuação na tensão de alimentação da fonte de radiação, haverá alteração do comprimento de onda. Por isso deve-se recolocar frequentemente a cubeta contendo o solvente e ajustar o 100%T (ou Abs).

Feixe Duplo: Nos instrumentos de feixe duplo, a radiação proveniente do monocromador é dividida por um espelho rotatório semiprteado em dois feixes: o de referência e o de amostra (figura 7)

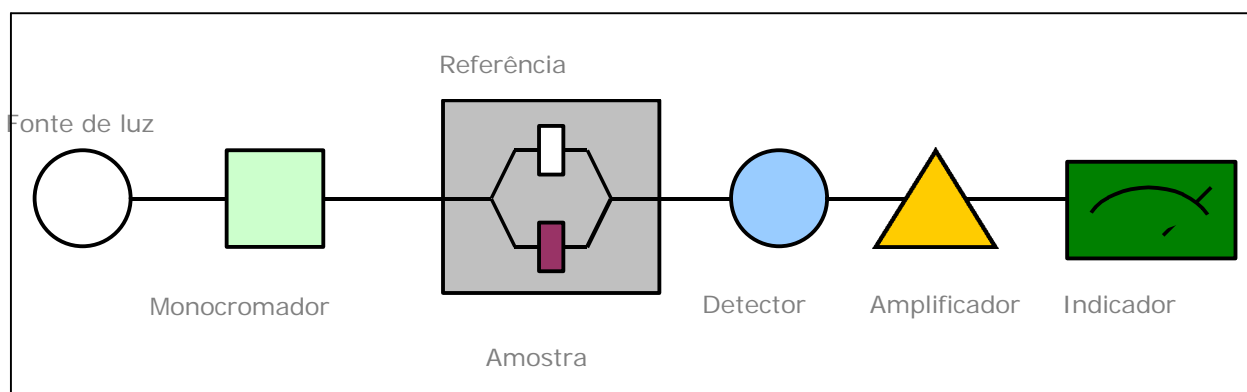


Figura 7: Sistema de Feixe Duplo

A cubeta com a amostra é colocada no feixe de amostra e o solvente no de referência. As duas luzes transmitidas são simultânea e seqüencialmente detectadas como sinal de referência (I_0) e sinal de

amostra (I). O sistema de feixe duplo ainda pode ser classificado em sistemas com um ou dois detectores.

Fonte de luz: No espectrofotômetro UV-Visível geralmente usa-se uma lâmpada de deutério para a região UV e uma de tungstênio ou tungstênio-halogênio para a região visível e infravermelho próximo. A lâmpada de mercúrio serve para calibrar a escala dos comprimentos de onda.

Lâmpada de Deutério: Normalmente usa-se a lâmpada de deutério para comprimentos de onda entre 180 a 370nm. A Radiação espectral, característica da lâmpada de deutério, fornece muitas linhas espectrais ao longo do comprimento de onda acima de 370nm, inclusive duas fortes linhas espectrais em 486.0 e 651.1nm, que freqüentemente são utilizados para checar a precisão do comprimento de onda.

Lâmpada de Tungstênio e Tungstênio-Halogênio: O filamento da lâmpada de tungstênio vaporiza-se e esses vapores fixam-se na face interna do bulbo da lâmpada. O efeito da evaporação catódica ou sublimação reduz a transmissão de luz e deteriora o filamento. A lâmpada de tungstênio-halogênio tem longa vida útil e previne a queda da intensidade provocada pela evaporação catódica. Ela contém uma mistura de gás inerte e certa quantidade de traço de gás iodeto (halogênio), o que retarda a vaporização do filamento de tungstênio através do ciclo halogênio sob condições de aquecimento, resultando em maior vida útil e mantendo uma forte radiação por maior período de tempo.

Lâmpada de Mercúrio: A lâmpada de mercúrio contém vapor de mercúrio a baixa pressão (apenas alguns Torr). Emite muitas linhas espectrais, normalmente esses espectros são usados para calibrar a escala do comprimento de onda de espectrofotômetros. As três linhas adjacentes ao redor de 365nm (365.0, 365.5 e 366.3nm) servem para checar a resolução do monocromador. A resolução é definida como sendo o menor intervalo de comprimentos de onda, pelo qual duas linhas espectrais adjacentes podem ser reconhecidas como espectros independentes.

Filtros: O filtro transmite radiações de alguns comprimentos de onda, mas absorve total ou parcialmente outros comprimentos de onda. Objetos transparentes coloridos absorvem as radiações de determinadas regiões do espectro visível, isto é, as radiações correspondentes à sua cor complementar, com maior intensidade. A função dos filtros em fotocolorimetria é justamente a de selecionar determinadas faixas espectrais. Por exemplo, um filtro verde só deixa passar certa faixa de comprimento de onda correspondente ao verde, um filtro azul só é transparente às radiações azuis e assim por diante. O filtro colorido consiste em um sólido transparente no qual se introduziu alguma substância, capaz de subtrair da luz branca algumas radiações que ela contém. Portanto, age de maneira semelhante a uma superfície colorida, que também absorve algumas freqüências da luz branca. O filtro apresenta porém a vantagem de permitir a visão por transparência. Assim, ao fazermos incidir uma luz branca sobre um filtro azul, por exemplo, este deixará passar radiações luminosas até uma determinada freqüência, retendo as demais e a sensação da cor que se obtém do outro lado do filtro é correspondente ao azul.

Um filtro ideal deveria transmitir totalmente as radiações de determinada freqüência e absorver completamente as radiações de outras freqüências. A qualidade dos filtros varia bastante, pois depende da natureza da matéria prima com que foram construídos.

Os filtros empregados em colorimetria podem ser de gelatina impregnada de corante, vidro colorido com uma, duas ou mais lâminas coloridas justapostas. A introdução de substâncias minerais que absorvem seletivamente determinadas radiações na constituição do filtro, faz com que se possam obter séries enormes de filtros coloridos, cada um transmitindo apenas uma faixa relativamente estreita do espectro visível.

Filtros de Interferência: Os filtros óticos podem também ser construídos com base no fenômeno da interferência. Os filtros interferenciais são formados por duas lâminas de vidro sobre as quais foi deposita uma película de prata metálica semitransparente (semi-espelho), tendo entre si uma camada transparente de fluoreto de magnésio ou de cálcio. Cada um desses filmes de prata reflete e transmite metade de qualquer radiação que incide sobre ele. Assim, a fração da radiação incidente que atravessa a primeira película de prata é refletida repetidamente por ambas as películas de prata, porém, a cada reflexão, parte da radiação é transmitida pela segunda camada.

Vários raios emergentes reforçam-se mutuamente apenas para o caso do comprimento de onda que corresponde ao dobro da distância que separa os dois filmes semitransparentes de prata (o que vale dizer, corresponde ao dobro da espessura da camada de MgF_2 ou CaF_2). Os outros comprimentos de onda são eliminados por interferência.

Os filtros de interferência permitem isolar faixas com largura entre 10 a 17nm. Entretanto também podem ser construídos com largura de 8nm ou menos e pico de transmitância de 60 a 95%. Eles são os mais eficientes filtros de transmissão e podem ser usados com fonte de luz de alta intensidade, uma vez que suprimem as radiações não desejadas por transmissão e reflexão e não por absorção.

Prismas: Os prismas são utilizados como elementos dispersantes entre o UV próximo e o IV médio, não podendo ser aplicados em outras regiões. Eles apresentam a característica da não linearidade dos seus espectros de dispersão, ou seja, os sucessivos comprimentos de onda acham-se espaçados desigualmente. Os comprimentos de onda correspondentes ao vermelho estão muito mais agrupados entre si que o os do violeta. Dessa maneira, se a fenda de saída tiver largura fixa, ela isolará faixas de comprimentos de onda com larguras maiores para a faixa de comprimentos de onda longos. Por isso, as montagens com prismas têm fendas ajustáveis, que permitem o controle efetivo da largura da faixa espectral.

A figura 8 mostra a decomposição da luz branca ou policromática nas cores fundamentais do espectro visível por meio de um prisma.

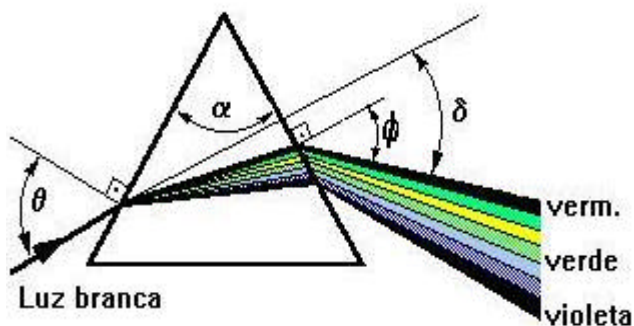


Figura 8: Decomposição da luz branca nas cores fundamentais

Um raio de luz que incide obliquamente sobre um bloco de vidro, ao atravessar a superfície de separação entre os dois meios (ar-vidro), muda de direção e aproxima-se da normal ao plano de separação (refração, vide figura 9).

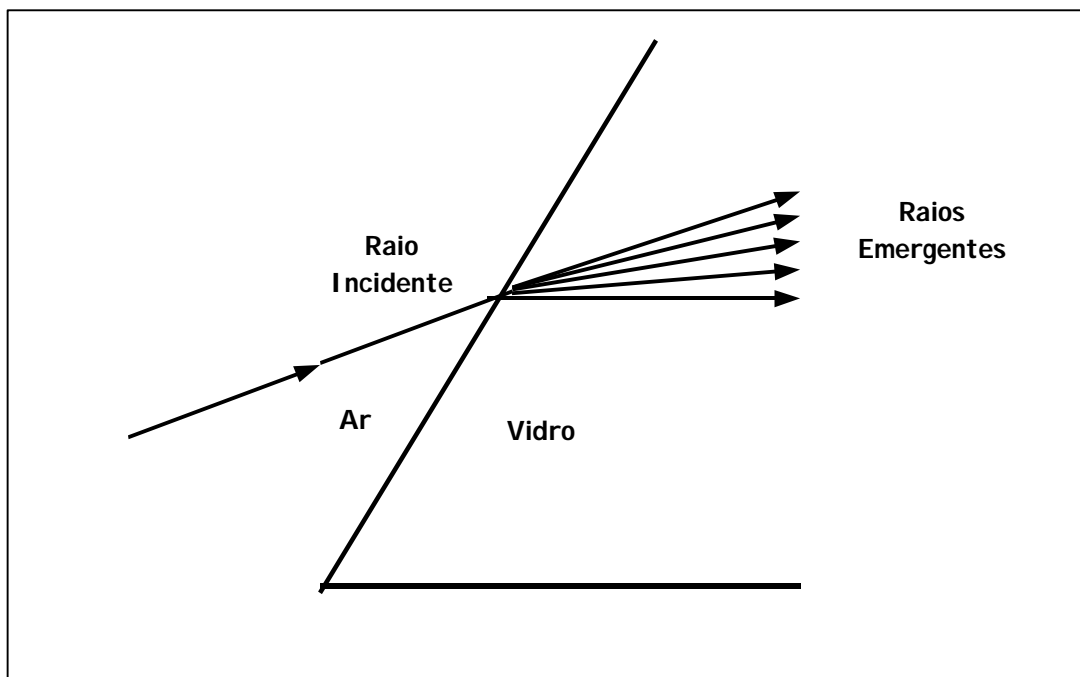


Figura 9: Refração de um raio de luz Visível ao atravessar a superfície ar-vidro

Se o raio incidente for luz branca, notamos que no vidro aparecem raios de cores diferentes, de modo a constituir uma gama contínua de cores que variam do violeta ao vermelho. O raio vermelho aproxima-se menos do normal, pois sofre menor desvio do que o violeta (figura 8), demonstrando que o raio incidente foi decomposto em função do comprimento de onda das radiações que constituem, embora esta separação seja pequena.

Para melhorar a separação faz-se com que o feixe decomposto incida uma segunda vez sobre a superfície ar-vidro, mas desta vez, em sentido contrário, ou seja, do vidro para ar.

Grades ou Redes de Difração: A dispersão da luz também pode ser obtida por meio de uma grade de difração - dispositivo com uma série de entalhes paralelos, entre 500 a 2000 linhas por milímetro, dirigidos para a superfície refletiva. Geralmente os entalhes são triangulares com ângulo de inclinação em relação à superfície plana de grade. Este ângulo (α) chama-se "ângulo de brilho".

Comercialmente, a maior parte das grades é réplica. A grade réplica é reproduzida a partir da matriz em filme fino de resina sintética e cimentada em placa de vidro de pequeno coeficiente de expansão. A seguir o filme plástico é aluminizado a vácuo. A grade de difração dispersa a luz incidente de acordo com comprimento de onda.

Monocromadores: Os monocromadores, de acordo com tipo dos seus elementos de dispersão, são classificados em monocromadores de prisma, de grade, de difração, de filtros e outros.

Monocromador de Prisma: Os prismas são quartzo fundido e foram largamente empregados até alguns anos atrás, devido ao alto custo de fabricação das grades de difração.

Características do monocromador de prisma:

Um só prisma pode cobrir uma grande faixa de 185 a 2500 nm (da região UV até a IV próximo)

Não há necessidade de filtros dispostos em uma distribuição posto que os mesmos são utilizados nos monocromadores de grade

O monocromador de prisma, comparado a um monocromador de grade, obtém grande dispersão e melhor resolução na região do UV (180 – 300nm)

Desvantagens do monocromador de prisma:

Como a dispersão varia com o comprimento de onda, torna-se necessário um sistema complicado que permita obter uma escala linear ou contador do comprimento de onda

Não é possível obter a resolução uniforme da largura da faixa fixa, devido a dispersão não linear do prisma

A dispersão e resolução na região Vis e IV próximo são inferiores as dos monocromadores de grade

Méritos monocromador de grade:

As grades em comparação com o prisma, permitem obter grande dispersão bem como melhor resolução, tanto na região do visível como no infravermelho próximo.

As grades asseguram grande exatidão do comprimento de onda, desde que o pequeno desvio devido à mudança de temperatura seja negligenciável

Com a largura fixa de fenda, a resolução em relação ao comprimento de onda é constante devido à dispersão sempre igual sob a largura da faixa do comprimento de onda

Para assegurar a exatidão linear da escala de comprimento de onda, é necessário um complicado sistema mecânico "sine bar"

Os monocromadores de grade têm também algumas desvantagens, tais como o espectro de ordem alta que é atirado para o espectro da primeira ordem e o uso obrigatório de filtros de distribuição de ordens. A configuração dos componentes óticos do monocromador de grade leva os nomes de seus inventores. Um exemplo típico de sistema ótico de monocromador é o tipo Czerny–Turner.

Compartimento de amostra e cubetas: Um compartimento de amostra provido de tampa protege o detector da luz forte externa. As cubetas são disponíveis em várias formas e dimensões.

Uma das mais populares é a cubeta plana retangular com dimensões - 10mm de largura (comprimento do caminho ótico), 10mm de profundidade e 45mm de altura.

Na fabricação das cubetas usa-se como matéria prima o vidro e a sílica, também chamada de quartzo. As cubetas de vidro servem na faixa de comprimento de onda de 340 a 2500nm e as de sílica (quartzo) de 180 a 2500nm.

Através da lei de Lambert-Beer (equação 4) ficou claro que, dobrando o comprimento do caminho ótico da cubeta teremos o dobro de absorvância. Quando a concentração da amostra é muito baixa ou absorvância muito pequena, deverá ser usada uma cubeta com longo caminho ótico. Dessa maneira pode-se obter uma alta absorvância, porém, o volume da amostra deverá ser maior. Outra alternativa é

a expansão eletrônica na escala de absorvância, melhorando a exatidão da leitura.

Limpeza de cubetas: Após as medições, as cubetas deverão ser imersas durante certo tempo em solução fraca de ácido crômico e em seguida enxaguadas em água destilada. Não esfregar forte demais as superfícies lisas das cubetas nem usar panos. O excesso de água é removido suavemente com lenço de papel.

Detectores de Radiação: Em todos os aparelhos utilizados para análises por absorção, a existência de um sistema que possa medir ou comparar as intensidades de radiação é fundamental. Os detectores convertem os sinais luminosos (óticos) em elétricos, tornando possível a sua medição ou comparação. Em princípio, qualquer dispositivo fotosensível pode ser utilizado, desde que tenha resposta linear na porção do espectro usado e sensibilidade adequada.

Fotocélula com Camada Barreira: O dispositivo mais utilizado pela sua simplicidade é a fotocélula com camada barreira, cujo espectro de sensibilidade é estável para a região do visível e infravermelho próximo.

Este dispositivo compreende uma placa de metal (ferro por exemplo) sobre a qual é depositada uma camada semicondutora, tal como o selênio. Uma película de prata, tão fina a ponto de ser transparente, recobre a camada semicondutora e atua como eletrodo coletor, sendo o outro eletrodo a base do metal.

Fototubo: Um fototubo produz alta sensibilidade na região do ultravioleta e visível por um baixo custo. A tensão é aplicada entre o ânodo e o foto-cátodo. Quando um fóton atinge o foto-cátodo, são liberados elétrons que fluem para o ânodo. A corrente elétrica gerada pelo foto-tubo é fraca deve ser amplificada e, por ser constante, a sensibilidade do foto-tubo não variará em proporção à tensão aplicada.

Fotomultiplicador: Um fotomultiplicador é a combinação de um foto-tubo e um amplificador de alto ganho. A sensibilidade do fotomultiplicador é largamente variável pelo ajuste da tensão aplicada, permitindo obter um grande espectro de sensibilidade na faixa de 200 a 600nm, mas, acima de 900nm, praticamente não tem mais sensibilidade.

O ânodo é blindado e, uma alta tensão negativa de 200 ~ 1000 V é aplicado ao cátodo. Essa tensão negativa, dividida por uma série de resistores, é aplicada em cada dinodo. Existem vários tipos de foto-cátodos e vários espectros de sensibilidade.

Indicadores: Existem dois tipos de indicadores, analógico e digital, que recebem os sinais elétricos amplificados do detector.

Indicador Digital: Um indicador analógico freqüentemente causa erros por ocasião da leitura de reflexão. Um medidor digital, entretanto, minimiza as possibilidades de erros vistos que o valor fotométrico é indicado em algarismos e em conexão com uma impressora permite a impressão automática dos valores indicados no display. O indicador digital, também permite uma apresentação linear das porcentagens de transmitâncias, absorvâncias e concentrações.