

ANALISE DE GASES E VAPORES ANESTÉSICOS

DR. JOSÉ CAIO DOS SANTOS (*)

A análise de gases e vapores anestésicos é de grande importância em anestesia, em centros de terapia intensiva, no estudo da função pulmonar e em pesquisa médica.

São apresentados e discutidos os principais métodos de análise de gases e vapores anestésicos, dando maior ênfase aos métodos físicos, tais como os baseados na absorção da radiação infravermelha e ultravioleta, na condutibilidade térmica, na susceptibilidade magnética, na velocidade do som, etc.

Foi procurado analisar os princípios que regem tais métodos, bem como o fundamento dos instrumentos de análise e as suas aplicações práticas. Através de diagrama, tentou-se dar maior clareza a tais explicações.

As principais finalidades da análise dos gases e vapores anestésicos são de testar o aparelho de anestesia, vaporizadores, instalações de gases, no estudo da função pulmonar, etc. Os métodos de análise podem ser divididos em químicos, físicos e físico-químicos.

MÉTODOS QUÍMICOS

Os métodos de análise química de gases têm perdido muito a popularidade para os métodos físicos. Procuramos resumir e dar apenas destaque ao aparelho de Haldane para a análise química do gás carbônico e oxigênio.

Este método não pode ser utilizado, se na mistura a ser analisada existir um outro gás solúvel no hidróxido de potássio como por exemplo o óxido nitroso.

(*) Do Department of Anaesthetics — Dudley Road Hospital Birmingham B16 — England.

AP 2027

A medida do gás carbônico é feita pela análise de sua absorção química por uma solução de 10 a 20% de hidróxido de potássio. Para a medida do oxigênio o método é similar apenas utilizando para sua absorção uma solução de pirogalol ou antraquinone de sódio. Existe também uma modificação do aparelho de Haldane feita por Campbell (1960).

MÉTODOS FÍSICOS

Estes métodos de medida aumentam dia a dia a sua aplicação em virtude da velocidade de análise, conveniência e a apresentação dos resultados em forma de sinal elétrico. Devido a grande velocidade de análise tais aparelhos servem para a análise contínua dos gases.

Os métodos físicos podem ser classificados em específicos e inespecíficos de acordo com as propriedades dos gases a serem analisados.

Os métodos inespecíficos utilizam as propriedades comuns a todos os gases, mas que variam de acordo com cada gás, como por exemplo a densidade, a viscosidade, a condutibilidade térmica, o índice de refração, a velocidade do som, a susceptibilidade magnética, etc.

Já os métodos específicos utilizam certas propriedades comuns a certos gases e vapores como por exemplo a absorção dos raios ultravioletas pelos vapores de halotano.

PRINCIPAIS APARELHOS DE ANÁLISE

CATARÔMETROS

São aparelhos que têm por princípio físico a condutibilidade térmica dos gases. Assim, existem gases com alta e baixa condutibilidade térmica.

Exemplos:

Gás	Peso Molecular	Condutibilidade térmica (cal. cm seg)
Ar	28,8	583 — 10^{-7}
CO ₂	44	352 — 10^{-7}
He	4	3480 — 10^{-7}
N ₂	28	581 — 10^{-7}
N ₂ O	44	380 — 10^{-7}
O ₂	32	589 — 10^{-7}

A redução em temperatura de um condutor altera a sua resistência elétrica. Os catarômetros baseiam-se fundamentalmente na ponte de Wheatstone (fig. 1).

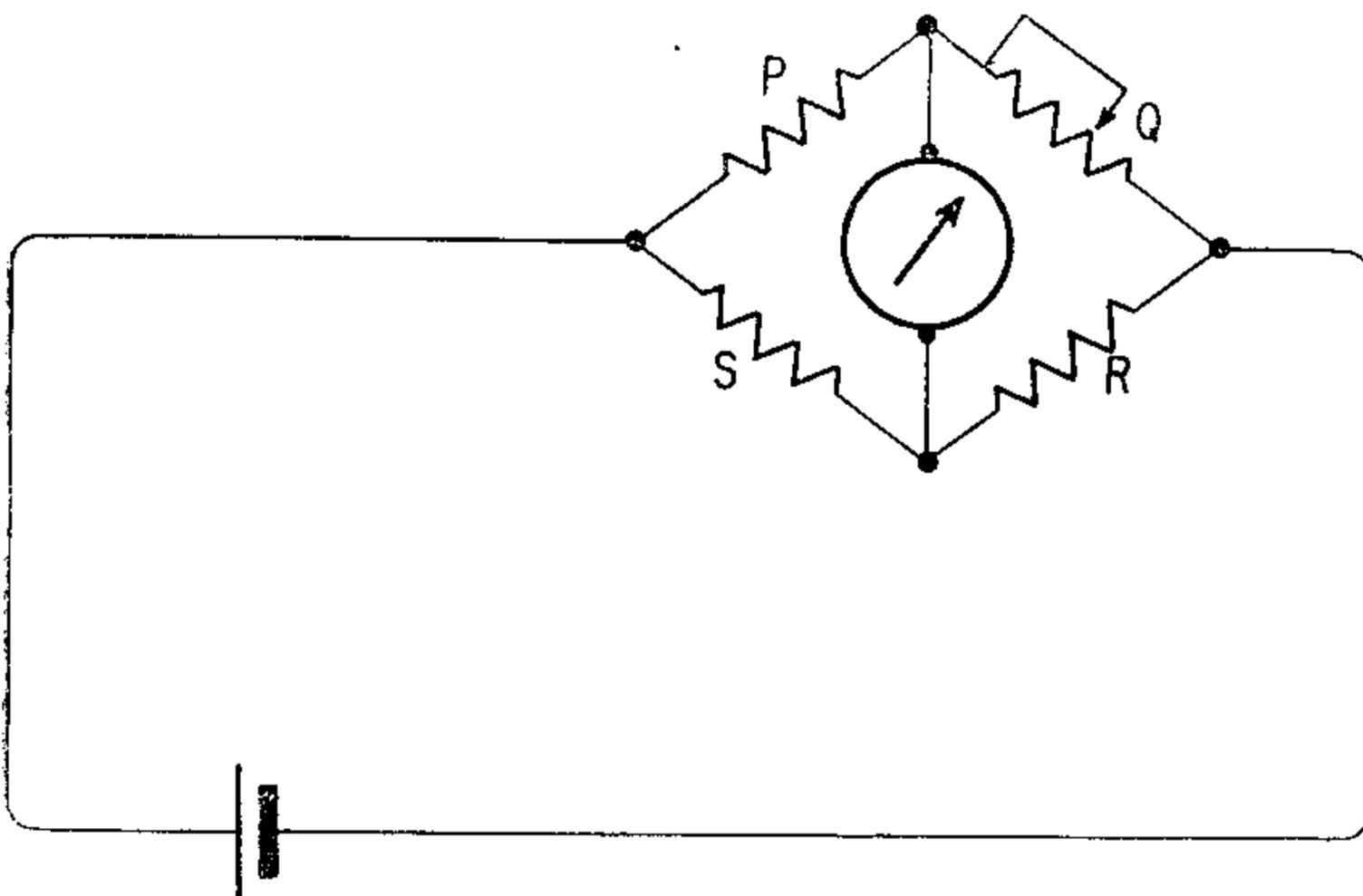


FIGURA 1

Esta configuração é extremamente comum em aparelhos de medida. É um conjunto de resistências e de um detector de corrente elétrica no meio. Usando resistências conhecidas em Q, pode-se medir uma resistência desconhecida.

$$\frac{P}{S} = \frac{Q}{R}$$

• No catarômetro (fig. 2) esta alteração de resistência elétrica pode ser relacionada em termos de concentração de gás.

Os gases passam nos tubos A e B, os quais têm suas resistências aquecidas R1 e R2. Como o grau de esfriamento de um condutor depende da temperatura, do fluxo e da condutibilidade térmica do gás, pode-se calcular a concentração de um gás relacionado com um outro gás de condutibilidade térmica conhecida, pela alteração da resistência elétrica.

O uso dos catarômetros é principalmente para a análise de CO₂ e hélio e também é útil na cromatografia de gases.

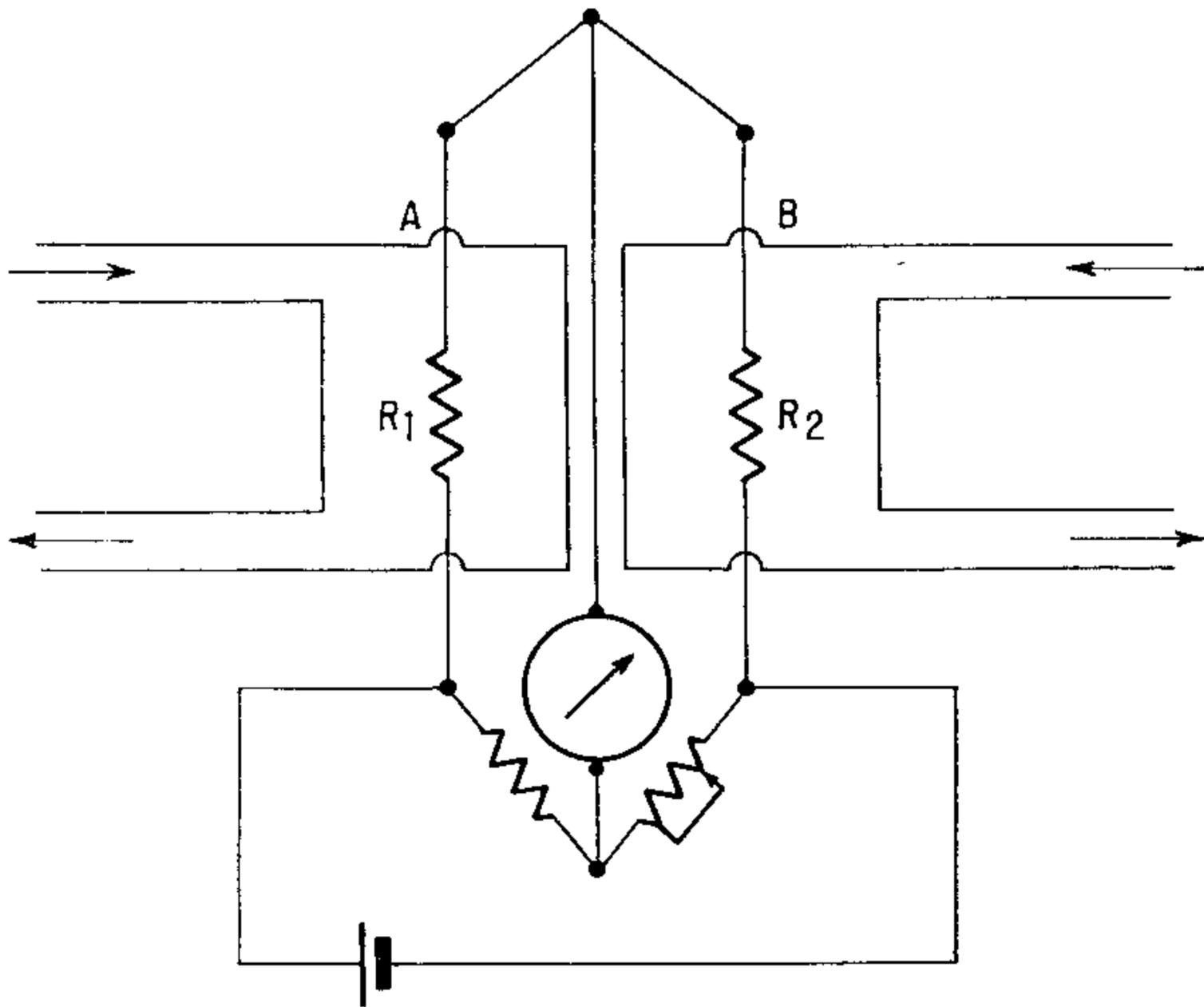


FIGURA 2

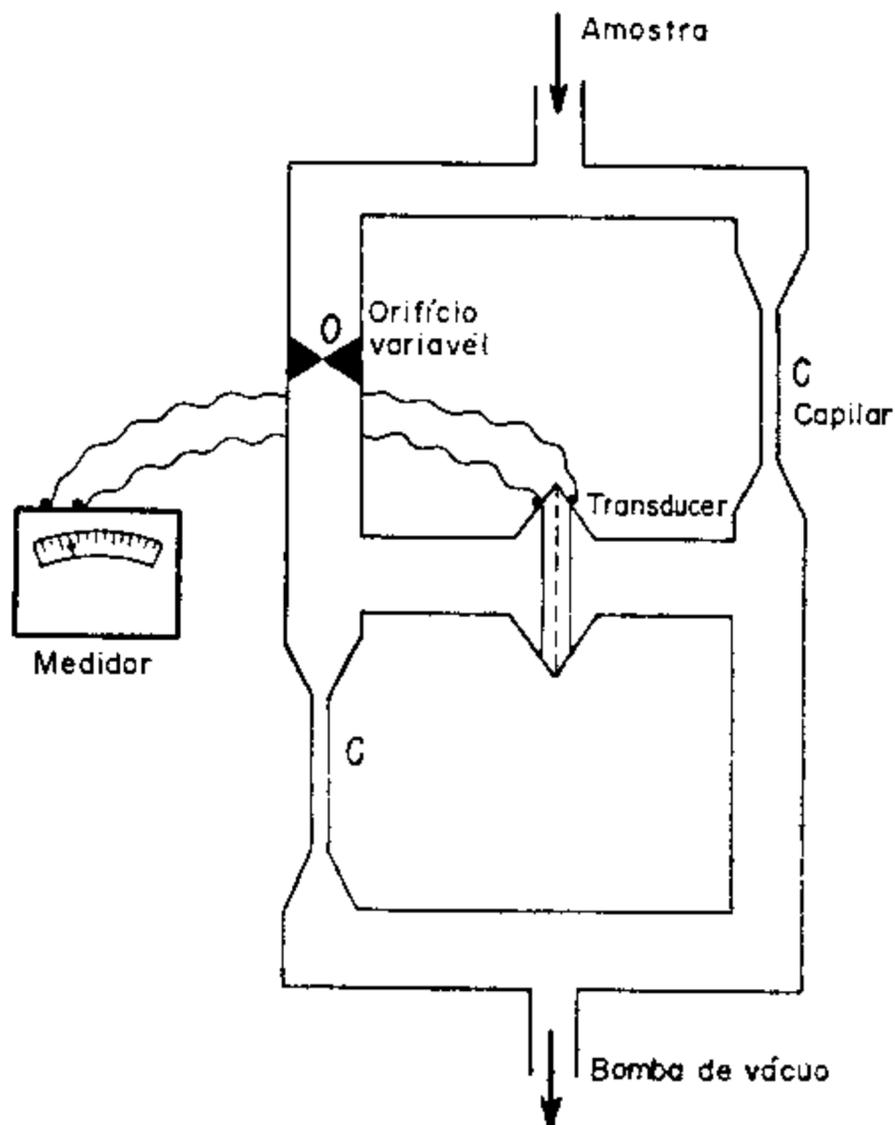


FIGURA 8

VISCOSIMETRO DE GAS

Este tipo de aparelho baseia-se fundamentalmente no princípio de que o fluxo de um gás através de um tubo capilar é dependente de sua viscosidade enquanto que através de um orifício é independente, mas dependente de seu peso molecular (fig. 3).

No viscosímetro nós temos o tubo capilar (c) e um orifício variável (o). Baseados no princípio acima descrito e com o auxílio de um "transducer" de pressão, nós podemos analisar concentrações de diferentes gases, bastando apenas calibrarmos tal aparelho para um determinado gás.

Apesar da simplicidade do aparelho, este é muito popular na Inglaterra.

REFRATÔMETROS

A luz passando através de um gás sofre um atraso que irá depender do índice de refração do gás e da distância percorrida através do gás. Também irá depender do número de moléculas presentes, da pressão e da temperatura do gás. O índice de refração de um gás é:

$$\mu = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade da luz no gás}}$$

Alguns exemplos de índice de refração de gases:

Gás	Índice de refração
Oxigênio	1,000272
Nitrogênio	1,000297
Gás carbônico	1,0004498
Ar	1,00029118
Oxido nitroso	1,000515
Tricloroetileno	1,001784
Halotano	1,00151
Vapor d'água	1,000257

Enquanto que medir a velocidade da luz em um meio é extremamente difícil, é fácil compará-la em diferentes meios de condução. Este é o princípio no qual se baseiam os refratômetros (fig. 4).

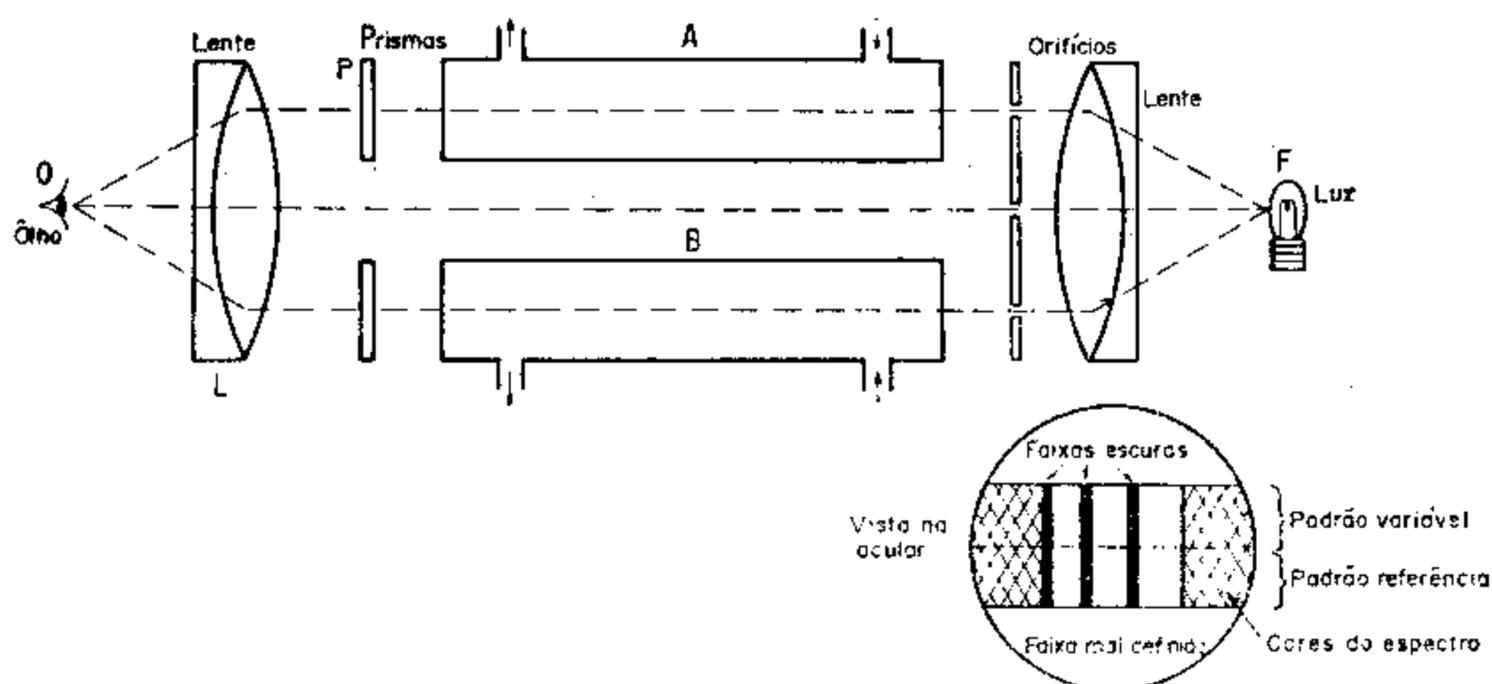


FIGURA 4

Estes aparelhos consistem essencialmente de dois tubos de vidro paralelos através dos quais passam-se dois feixes de luz. O tubo A contém o gás padrão, cujo índice de refração é conhecido e o tubo B é usado para a análise do gás cuja concentração se quer saber. Atrás dos tubos o feixe de luz passa por dois prismas óticos P, um dos quais é ajustável e seu ângulo de inclinação pode ser medido com precisão. Os feixes depois são reunidos para produzir o padrão de interferência de luminosidade e escurecimento.

Se o gás de concentração desconhecida tem alta densidade ótica, a passagem da luz através dele é atrasada e conseqüentemente o padrão de interferência é deslocado.

Pela extensão do deslocamento mede-se o índice de refração da mistura de concentração desconhecida e alternativamente o prisma ajustável pode ser movido até que o padrão original seja restaurado. Assim, a quantidade de rotação usada indicará em escala vernier calibrada, a concentração do gás. O refratômetro pode ser calibrado para diferentes meios como por exemplo óxido nitroso/oxigênio — Halotano/oxigênio — tricloroetileno/ar — Halotano/óxido nitroso-oxigênio, etc.

ANALISADOR SÔNICO

Um dos mais efetivos métodos de análise de gases e vapores anestésicos baseia-se na velocidade do som. Esta velocidade está relacionada com a densidade do gás, com seu calor específico e com a pressão barométrica.

Molyneux e Pask (7) aplicaram este princípio combinado com o desenvolvimento da eletrônica no transporte e recepção do som (fig. 5). Este aparelho consiste fundamentalmente

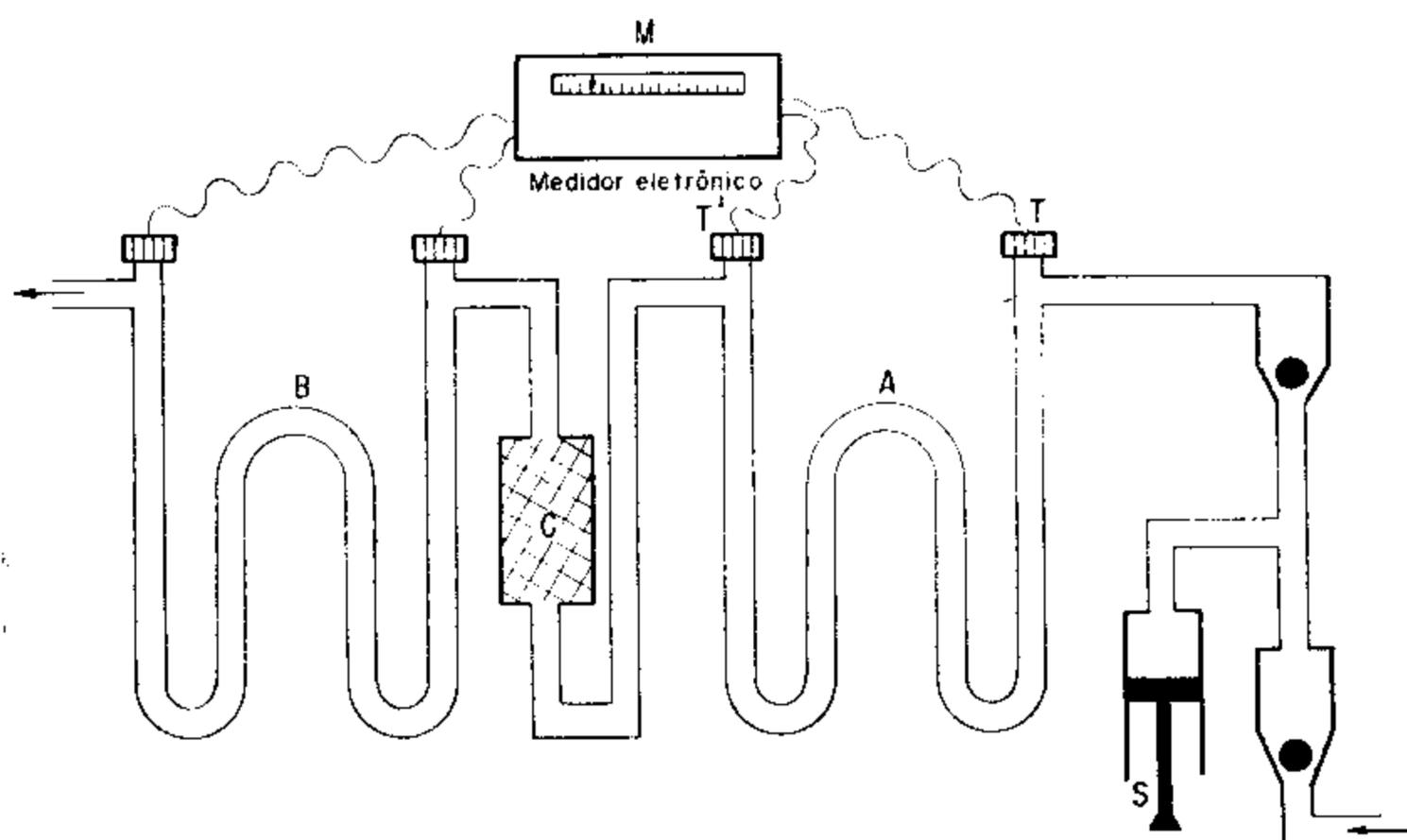


FIGURA 5

de dois tubos de vidro A e B, de um metro de comprimento, intercalados por um absorvedor de carvão ativado (C) que serve para absorver o anestésico a ser analisado. Assim, através de um mecanismo telefônico, aplica-se em T um som que é recolhido em T' e analisado eletronicamente no medidor (M). Isto se aplica no tubo A com o gás contendo o anestésico. A mesma operação será feita no tubo B cujo conteúdo será desprovido do anestésico, uma vez que este será absorvido pelo carvão ativado. O aparelho original de Molyneux tem três tubos para melhor precisão na absorção do anestésico. Este aparelho funciona com uma pilha elétrica de mercúrio de vida média de 80 horas. O circuito elétrico é baseado em transistores.

A amostra a ser analisada será colocada através da seringa S e assim, através da análise da diferença de recepção do som, expresso em voltagem, mede-se a concentração do vapor anestésico presente. O aparelho requer cerca de 10 minutos para tornar-se estabilizado e poderá ser calibrado para diferentes anestésicos e diferentes gases solventes tais como ar, oxigênio, óxido nitroso/ oxigênio em diferentes concentrações, etc.

ANALISADOR DE NITROGÊNIO

Os gases quando suficientemente excitados emitem radiação eletromagnética como ultravioleta, luz visível e infravermelha. Este princípio é aplicado ao analisador de nitrogênio, o qual emite uma radiação de comprimento de onda

característica do gás (fig. 6). O aparelho consiste fundamentalmente de um cilindro de vidro (C) no qual se rarefaz o conteúdo gasoso através de uma bomba de vácuo potente. A mistura a ser analisada é colocada no cilindro através do orifício (o). No interior do cilindro existem dois eletrodos nos quais é aplicado alta voltagem (1500 a 2000 volts). O nitrogênio contido na mistura será ionizado e emitirá uma ra-

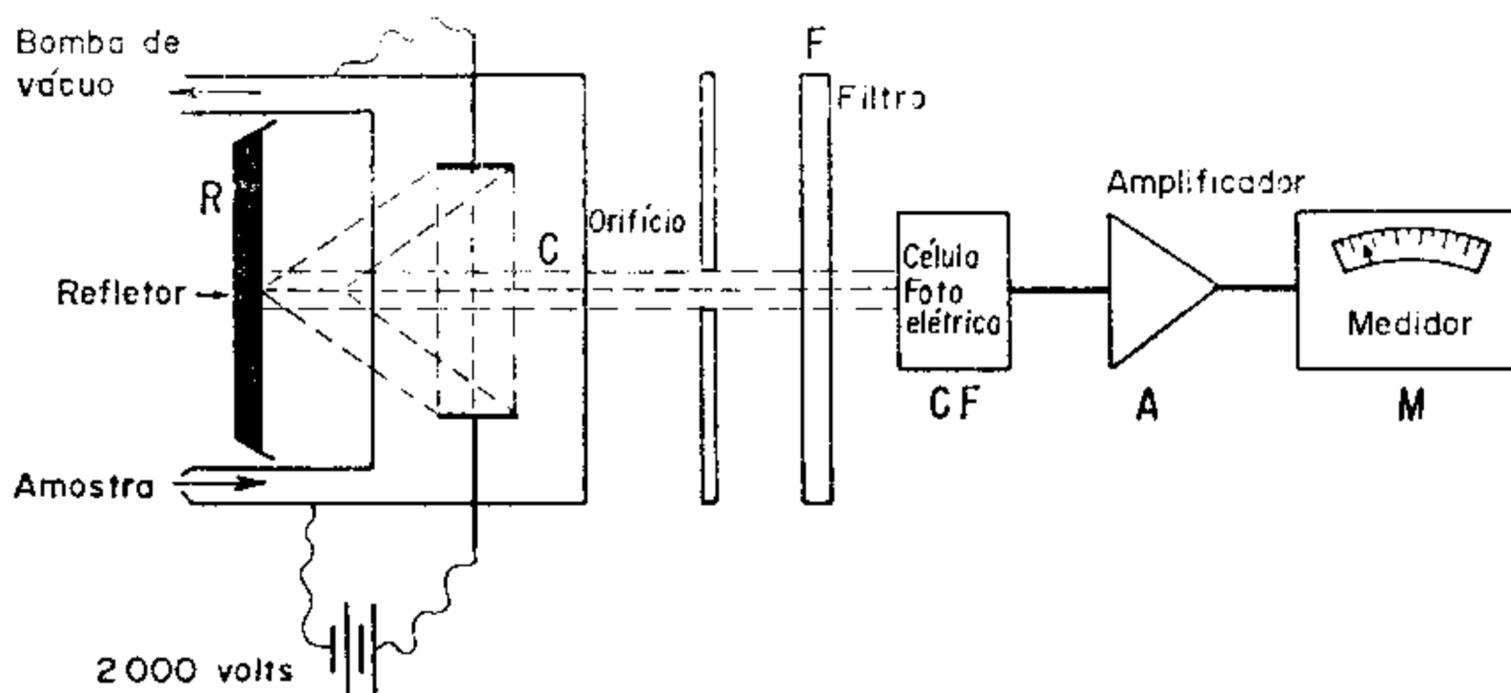


FIGURA 6

dição eletromagnética de um determinado comprimento de onda que depois de refletida pelo refletor (R), será filtrada para evitar interferência de outros possíveis gases e recolhida para uma célula foto-elétrica (CF). Na célula foto-elétrica a radiação recolhida será transformada em sinal elétrico que depois de amplificado em (A) será medido no medidor (M).

O aparelho é calibrado para diferentes concentrações de nitrogênio.

A análise do nitrogênio é usada para testes de função respiratória como a medida do espaço morto e distribuição da ventilação. É um método muito rápido, com um tempo de resposta na ordem de 20 milisegundos.

ANALISADOR PARAMAGNÉTICO

Em 1845 Faraday notou que certas substâncias diferentes do ferro, níquel e cobalto também podiam ser magnetizadas, porém em menor grau que o ferro. Ele submeteu diversas substâncias a um forte e não homogêneo campo magnético e notou que algumas substâncias, as quais ele chamou de paramagnéticas, eram atraídas para dentro do campo e outras, as diamagnéticas, eram repelidas para fora.

O paramagnetismo e diamagnetismo não são limitados aos sólidos, mas são comuns aos fluídos. O oxigênio tem dois elétrons da sua camada externa não em pares e assim ele possui um radical livre. Também o óxido nítrico e o óxido nítrico possuem radicais livres nas suas moléculas e por isso apresentam, como o oxigênio, atividade paramagnética, porém não tão ativa quanto este.

Pauling, Wood e Sturdivant (1946) desenvolveram os primeiros analisadores paramagnéticos para a medida do oxigênio (fig. 7). O aparelho consiste essencialmente de um pe-

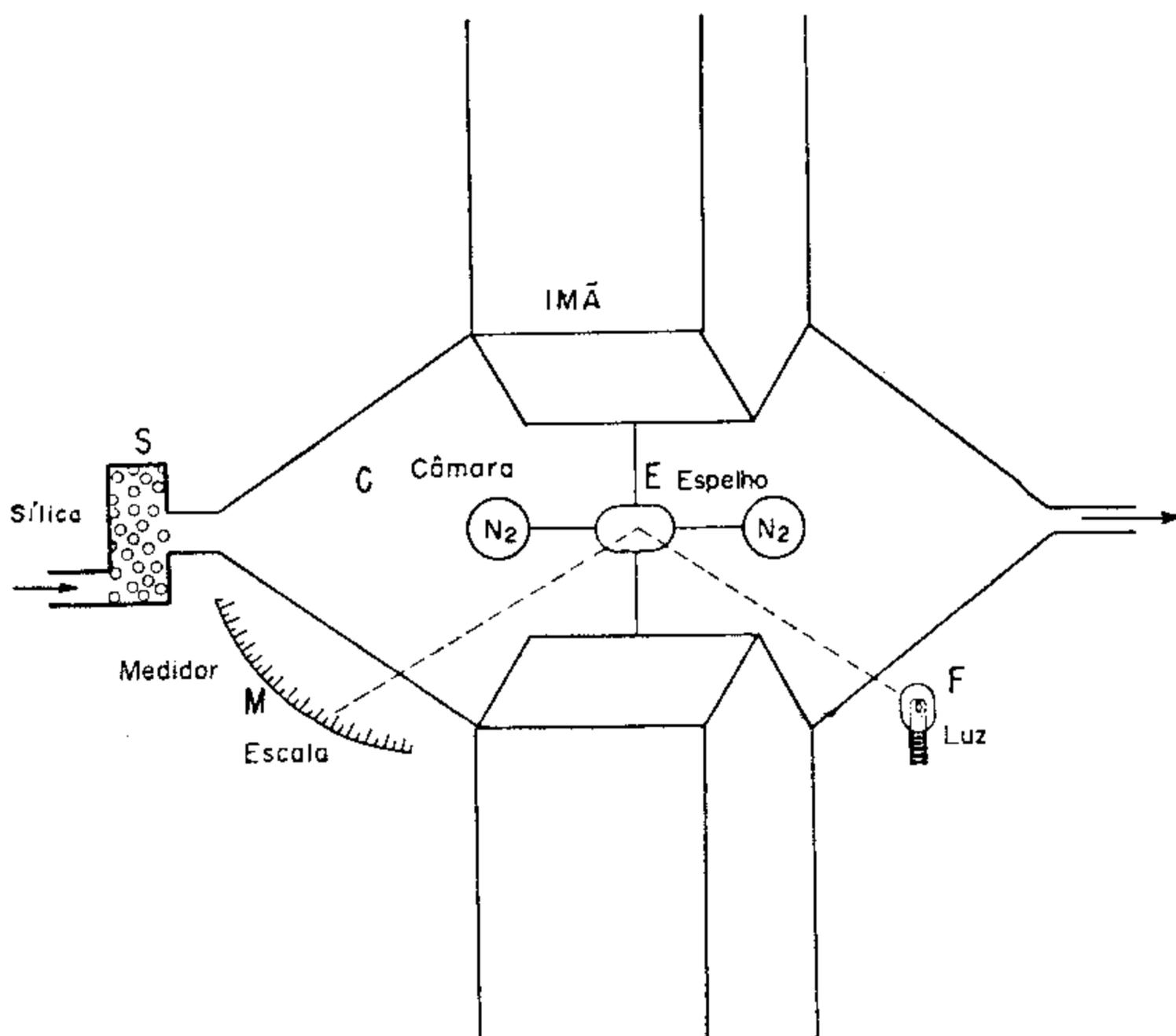


FIGURA 7

queno halteres de vidro contendo um gás diamagnético no seu interior (nitrogênio). O halteres é suspenso entre os polos de ímã permanente, o qual propicia um forte e não homogêneo campo magnético e o halteres é livre de girar em redor do eixo vertical.

O aparelho original de Pauling tinha a haste de quartzo. Modernamente no Servomex da "Servomex Controls LTD" a haste é de platina iridiada por ser mais forte que a de quartzo.

Se a permeabilidade magnética do gás da câmara (C) é idêntica a do gás contido no interior do halteres não haverá força de deslocamento e o aparelho marcará Zero no medidor (M).

Isto é obtido através da reflexão de um feixe de luz da fonte (F) no espelho (E).

Quando injetamos no aparelho, por exemplo ar, o halteres moverá e nós leremos no medidor (M) cerca de 21%.

Como o vapor d'água afeta a medida, este será absorvido por um gel de sílica antes da mistura entrar no aparelho. O vapor d'água condensando no interior do aparelho afetará a sua precisão. Nos mais modernos analisadores ao invés da luz para indicar o desvio do halteres, está sendo usado um mecanismo eletrônico. O tempo de leitura é na ordem de 60 segundos, não servindo portanto para a análise contínua. A precisão do aparelho cai muito quanto a concentração de oxigênio é menor que 1%.

ANALISADOR DE INFRAVERMELHO

A radiação infravermelha é absorvida por todos os gases de mais de dois átomos na sua molécula e comumente usada para a análise do gás carbônico, podendo ser também analisados por este princípio, óxido nitroso, halotano, eter, etc.

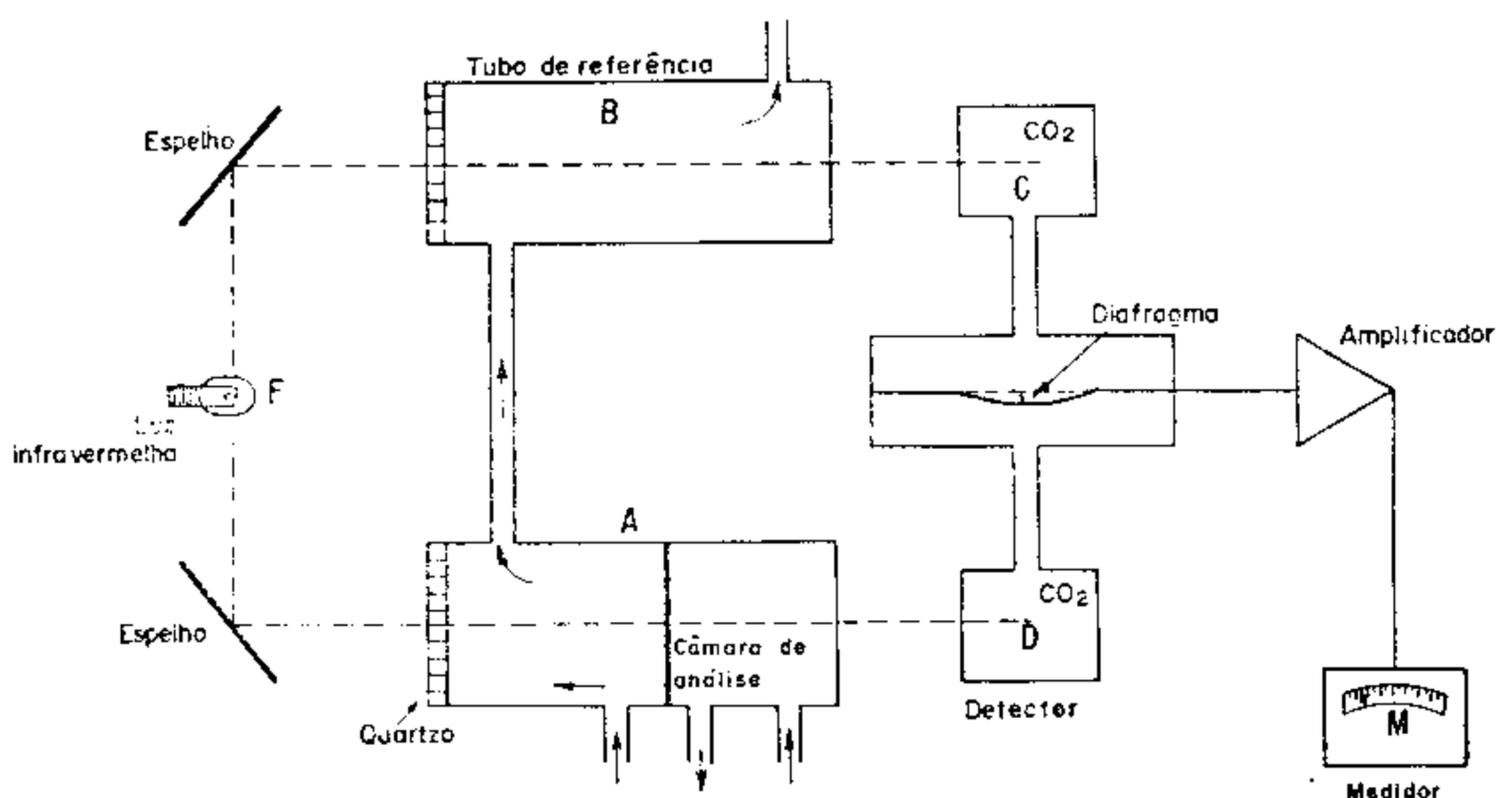


FIGURA 8

O analisador de infravermelho (fig. 8) para a análise de CO₂ consiste fundamentalmente de uma fonte de luz infravermelha (F) a qual através de espelhos é refletida em direção aos tubos A e B. O gás a ser analisado circula através

da câmara de análise, enquanto a outra parte do tubo A e o tubo referência são circulados por ar ou outro gás condutor, cuja finalidade é diminuir a possibilidade de erros por absorção da luz infravermelha por outros gases que não o CO₂.

No detector existem duas câmaras C e D, as quais contêm CO₂ padronizado com uma certa pressão, separados por um diafragma. Quando a luz infravermelha passa pela câmara de análise, certa quantidade desta será absorvida pelo CO₂. Assim sendo, maior quantidade de radiação incidirá na câmara C e conseqüentemente a pressão será maior. Haverá uma modificação do diafragma, que será registrada por um "transducer" de pressão. Esta modificação depois de amplificada será registrada no medidor M calibrado em porcentagem de CO₂.

O tempo de resposta, na ordem de 150 a 300 milisegundos, que permite a análise de CO₂ em cada ciclo respiratório.

ANALISADOR DE ULTRAVIOLETA

A absorção dos raios ultravioleta pelo vapor de halotano é o princípio no qual se baseia o analisador de halotano construído por Robinson e col. (1962). Kalow descreveu a absorção da luz ultravioleta pelo halotano (1957).

A molécula do halotano absorve a luz ultravioleta no espectro de 2500 Angstrom. O tricloroetileno é muito similar tendo uma absorção em 2625 Angstrom. O nitrogênio, oxigênio, hélio e vapor d'água apresentam uma absorção abaixo de 2000 Angstrom e por isso não interferem com a análise do halotano por este método.

O aparelho (fig. 9) consiste essencialmente de uma fonte de ultravioleta (F) como a da "General Electric 64T4" de 2537 Angstrom que é refletida através de um espelho. Um feixe passa direto para uma célula fotoelétrica P1 e o outro feixe passa através do cilindro (C) o qual contém a mistura de halotano a ser analisada. A célula foto-elétrica P2 recolherá o restante da radiação não absorvida pelo halotano. A diferença de absorção entre as duas células foto-elétricas indicará no medidor M a porcentagem de halotano. Usualmente estes aparelhos são calibrados para analisar concentrações de halotano de 0 a 5%. Este tipo de analisador serve para a análise contínua, mas não deve ser usado por mais de uma hora pelo perigo de formação de produtos tóxicos pela ação do aquecimento sobre o halotano.

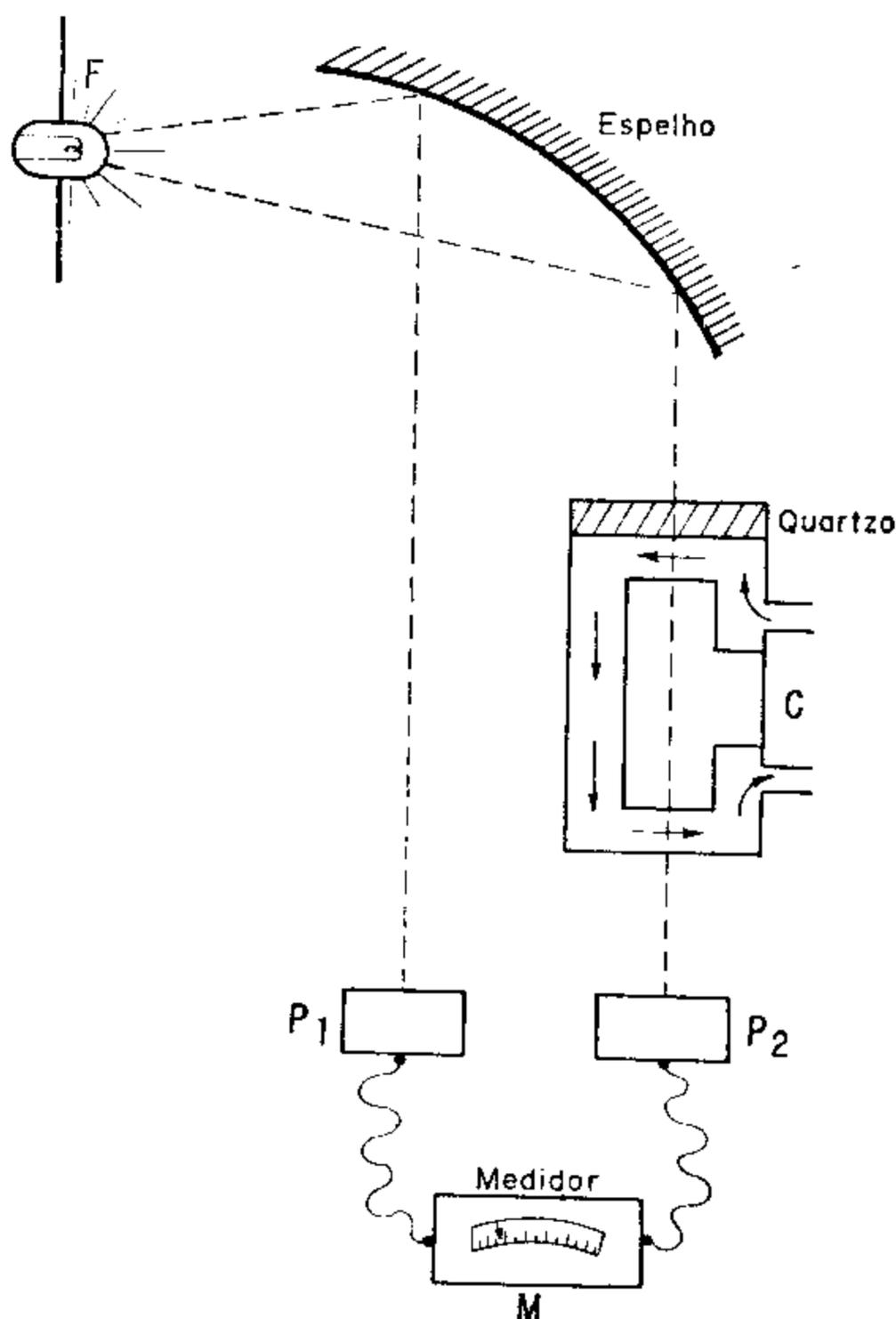


FIGURA 9

CROMATOGRAFIA DE GASES E VAPORES ANESTÉSICOS

É uma técnica de especial interesse para a anestesia, sobretudo no setor de pesquisa pois propicia um meio de análise de múltiplos gases e vapores, servindo também para a análise dos gases no sangue. O nome é impróprio pois geralmente os gases são incolores e o processo nada tem a ver com cores.

O elemento essencial de todas as técnicas de cromatografia é a separação das substâncias entre dois solventes. Um destes solventes é absorvido dentro de um material inerte e esta fase é chamada "fase estacionária". Esta fase utiliza a adsorção seletiva no meio sólido e é complicado pelo fato de que nenhum simples adsorvente pode ser usado para separar uma mistura de oxigênio, gás carbônico, nitrogênio e óxido nítrico. Na prática podem ser utilizados 2 colu-

nas separadamente. Este tipo de arranjo tem vantagens e desvantagens. Também pode ser usado colunas em série, mas é necessário alterar a calibração do catarômetro e frequentemente sua polaridade no curso de cada análise. A construção de um par de colunas paralelas entretanto é mais difícil e consome mais tempo que no caso das colunas em série.

O material usado para a separação dos gases e vapores pode ser de vários tipos como *zeolites* com poros de 5 a 10 Angstrom que serve para separar oxigênio, gás carbônico, nitrogênio; *partículas plásticas* especiais que adsorvem substâncias; também *partículas com um fino filme de líquido* que servem para adsorver os gases; etc.

Os detectores podem ser também de diferentes tipos como catarômetros (já descrito), detector de chama, detector de captação de eletrons.

Os catarômetros são usados principalmente para a análise do nitrogênio e hélio.

O detector de chama serve para analisar as substâncias que podem ser queimadas; por exemplo, todos os compostos carbônicos com exceção do gás carbônico. É um tipo de detector bem mais sensível que os catarômetros.

O detector de captação de eletrons é específico para os compostos halogenados como halotano, metoxifluorano, tricloroetileno, etc. Utilizam a propriedade da grande afinidade dos halogênicos por eletrons. Tais detectores contêm uma substância radioativa que emite radiação beta (eletrons) e um receptor. Quando passamos a mistura contendo substâncias halogenadas, há uma captação da radiação e a corrente cai, sendo posteriormente medida. Tal detector é altamente sensível, capaz de detectar uma partícula por um milhão.

A terceira e última fase da cromatografia consiste na amplificação e na medida das concentrações detectadas pelos detectores. Geralmente empregam-se amplificadores baseados em transistores e a medida pode ser feita utilizando gráficos.

O aparelho de cromatografia de gases (fig. 10) consiste fundamentalmente de uma coluna cromatográfica (C) constituída de um tubo de aço, vidro ou nylon, de diâmetro variando de 0,3 a 0,6 cm e de comprimento variável, podendo atingir a mais de 1 metro. Este tubo é cheio de substâncias de separação conforme já foi relatado anteriormente.

A temperatura é mantida constante através de um reostato. No processo da cromatografia os gases e vapores anestésicos não ficam retidos nas substâncias adsorventes, mas sofrem um certo atraso de velocidade e assim são separados por fase.

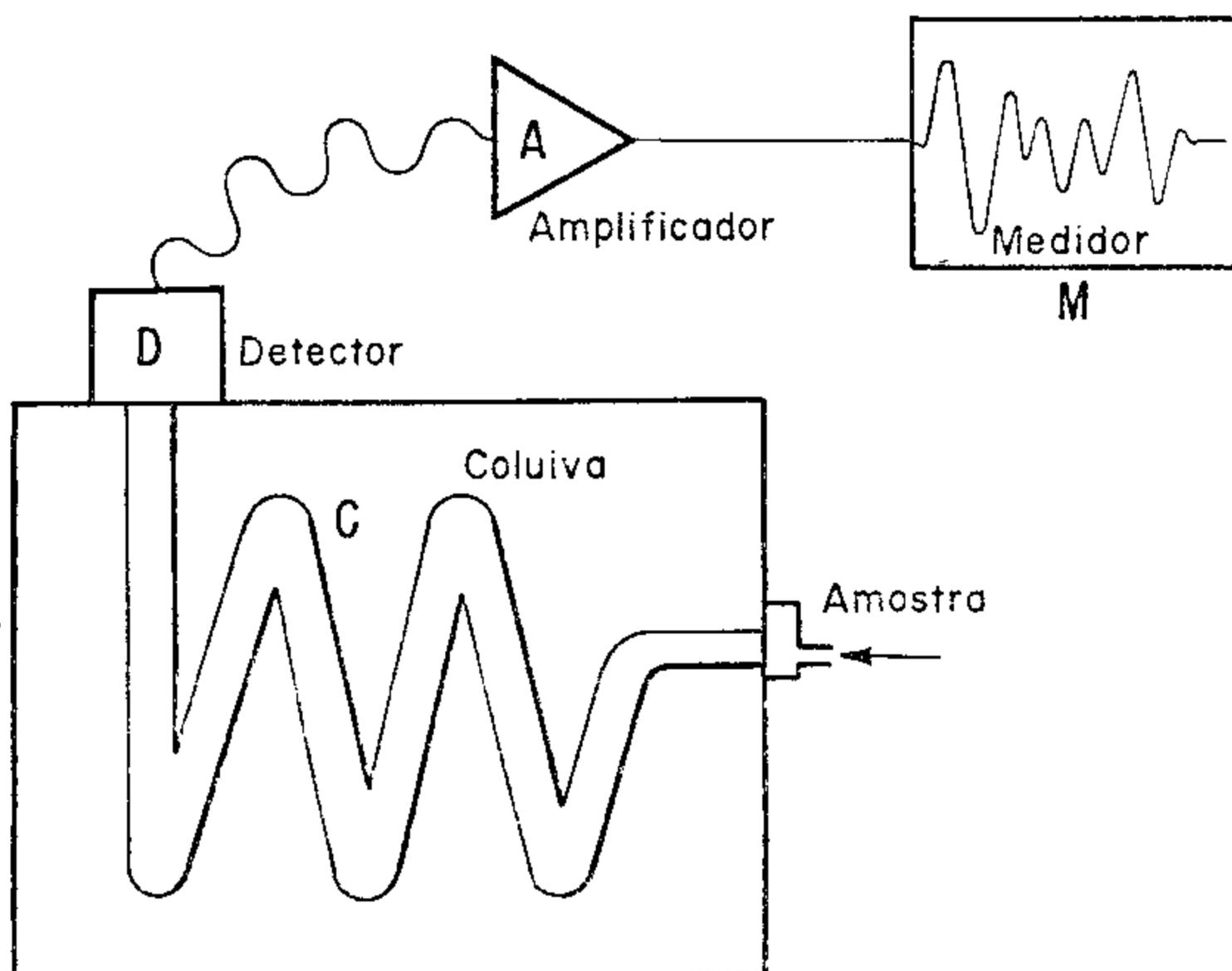


FIGURA 10

Depois da coluna de separação temos o detector (D), cujo tipo mais comum é o catarômetro.

A última fase da cromatografia é a amplificação por meio de um amplificador eletrônico (A) e a medida que pode ser sob forma gráfica (M).

ESPECTRÔMETRO DE MASSA

É um aparelho que analisa as substâncias de acordo com suas massas atômicas, no nosso caso particular, gases e vapores anestésicos.

A análise automática dos gases com o analisador infravermelho para CO₂ e CO, o espectrofotômetro para o N₂, o analisador paramagnético para o O₂, o catarômetro para N₂, He, N₂O, etc. tem simplificado alguns destes testes suficientes para torná-los rotina em laboratórios especializados em estudo da função pulmonar, na anestesia e nos departamentos de terapia intensiva. Porém, o uso destes é até certo ponto limitado, pois com a exceção do analisador de nitrogênio e o infravermelho para o CO₂, o demais não podem ser usados na análise contínua, por exemplo em cada ciclo res-

piratório. Também tais métodos de análise analisam os gases separadamente.

O espectrômetro de massa para gases supre todas estas deficiências (fig. 11).

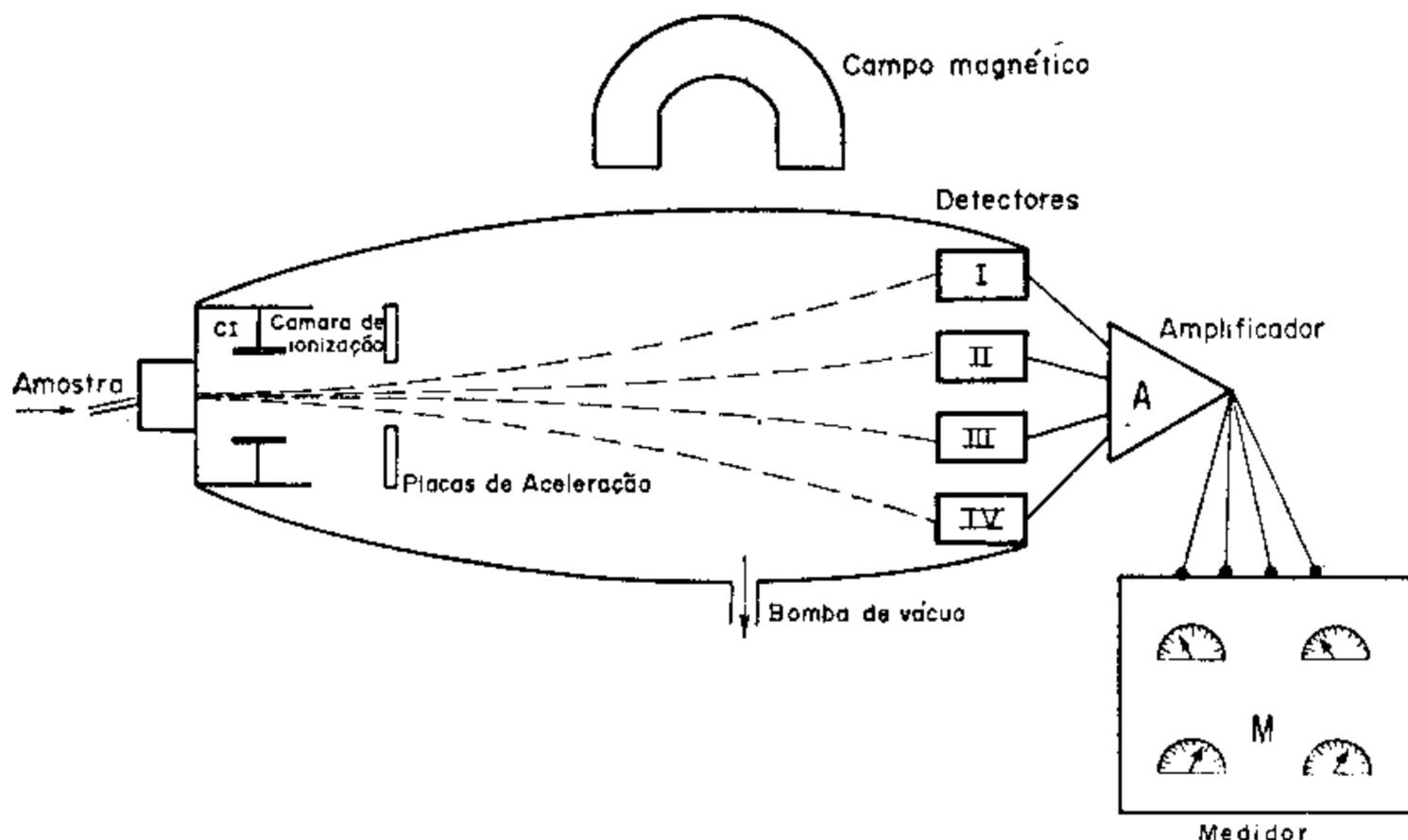


FIGURA 11

O aparelho consiste fundamentalmente de uma câmara de ionização (CI). Nesta câmara a amostra será submetida a um bombardeamento de elétrons altamente acelerados, os quais retiram elétrons das substâncias e as transformam em íons com carga positiva. Depois estes íons são acelerados e submetidos a um forte campo magnético. No interior do aparelho é mantido uma baixíssima pressão barométrica cujos valores oscilam na ordem de 10^{-3} a 10^{-8} mm de Hg.

Devido a ação do campo magnético sobre os íons há uma separação deles de acordo com suas massas atômicas. Posteriormente serão recolhidos pelos detectores (D). Depois de amplificados tais resultados serão medidos em forma de sinal elétrico.

Neste tipo de aparelho utilizado para fins médicos geralmente são usados quatro detectores que podem ser calibrados para diferentes gases e vapores.

O espectro de medida inclui a análise de gases de 10 a 80 de massa atômica.

Na indústria petroquímica e na metalurgia são usados espectrômetros de massa que analisam desde as menores até substâncias de altíssima massa atômica e utilizam filmes para a detecção, os quais depois serão analisados de acordo com padrões conhecidos.

O aparelho requer só eletricidade para funcionar, pode ser transportável, utiliza pouca amostra de gases (fluxo de 15 ml/min) e tem altíssima sensibilidade capaz de detectar partículas de 1/1 milhão.

Como inconveniências podemos citar o alto custo do aparelho, incapacidade para detectar gases de mesma massa atômica como é o caso do CO₂ e N₂O, ambos com 44 de massa. Também pode haver certa quebra das moléculas como por exemplo do N₂O em NO, etc.

SUMMARY

ANALYSIS OF GASES AND ANESTHETIC VAPOURS

The analysis of gases and anesthetic vapours is very important in anesthesia, intensive care units, lung function tests and medical research.

The main methods of analysing gases and anaesthetic vapours are presented and discussed, with more emphasis on the physical methods, such as infra-red and ultra-violet absorption, thermic conductivity, magnetic susceptibility, refractive index, velocity of sound, etc.

The principles of these methods, the basis of the analyser devices and their practical applications were analysed. There are several diagrams to help explain this more clearly.

BIBLIOGRAFIA

1. Cyril Scurr e Stanley Feldman — Scientific Foundations of Anaesthesia. William Heinemann Medical Books LTD, England, 1974.
2. Davies D D — «A method of gas chromatography for quantitative analyses of blood gases». Brit J A 42:19, 1970.
3. Edmonson W — «Gas analysis refractive index measurement». Brit J A 29:570, 1957.
4. Ellis F R e Nunn J F — «The measurement of gaseous oxygen tension utilizing paramagnetism and evaluation of the Servomex OA/150 Analyser». Brit J A 40:569, 1968.
5. Fowler K T e Hugh-Jones P — «Mass espectrometry applied to clinical practice and research». Brit Med J 1:1205, 1957.
6. Hill D W — Electronic measurement techniques in Anaesthesia and Surgery. Butterworths, London, England, 1970.
7. Molyneux L e Pask E A — «A sonic analyser for anaesthetic vapours». Anaesth 14:191, 1959.
8. Robinson A, Denson J S e Summers F W — «Halothane Analyser». Anesthesiology 23:391, 1962.
9. Stott F D — «A sonic analyser for measurement of CO₂ in the expired air». Rev Scient Inst 28:914, 1957.
10. Sykes M K e Vickers M D — Principles of Measurement for Anaesthetists. Blackwell Scientific Publications, England, 1973.
11. Woolmer R F — «The Pauling analyser as an aid to the anaesthetist». Brit J A 28:118, 1956.
12. Wortley D J e col — «The use of gas chromatography in the measurement of anaesthetic agents in gas and blood». Brit J A 40:624, 1968.