República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 102018077022-5 B1

(22) Data do Depósito: 23/12/2018

(45) Data de Concessão: 22/10/2024

(54) Título: FOTÔMETRO PORTÁTIL PARA DETERMINAÇÃO DE BIODIESEL E ÓLEO VEGETAL EM DIESEL MINERAL E SEU MÉTODO DE CONSTRUÇÃO EMPREGANDO SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

(51) Int.Cl.: G01N 21/359.

(52) CPC: G01N 21/359.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP; UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE.

(72) Inventor(es): EDUARDO MAIA PAIVA; CLAUDETE FERNANDES PEREIRA; CELIO PASQUINI; JARBAS JOSÉ RODRIGUES ROHWEDDER.

(57) Resumo: Aplicada na área do desenvolvimento de equipamentos para investigação ou análise química de materiais utilizando meios óticos, a presente invenção abrange um fotômetro portátil e seu método de construção por meio de seleção de variáveis em um modelo de medida sequencial, no qual a leitura de cada par de emissor LED e filtro é feita individualmente, monitorando os comprimentos de onda mais significativos para determinar o parâmetro de interesse atrelado à detecção de um composto específico em um sistema multicomponente, como, por exemplo, para determinar o teor de biodiesel em uma mistura com diferentes combustíveis.

FOTÔMETRO PORTÁTIL PARA DETERMINAÇÃO DE BIODIESEL E ÓLEO VEGETAL EM DIESEL MINERAL E SEU MÉTODO DE CONSTRUÇÃO EMPREGANDO SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

Campo da invenção:

[1] A presente invenção se insere, de modo geral, no campo da investigação ou análise de materiais pelo uso de meios óticos associados a luz, mais especificamente voltadas para a aplicação em combustíveis, configurando-se como um fotômetro portátil baseado em conjuntos específicos de LEDs e filtros. Estes conjuntos são selecionados por um método que emprega seleção de variáveis escolhendo os comprimentos de onda mais representativos de acordo como o parâmetro ou composto de interesse.

Fundamentos da invenção:

[2] Alguns fotômetros portáteis disponíveis no mercado são geralmente instrumentos dedicados, projetados e construídos para determinar somente um parâmetro ou composto específico de uma amostra, visto que somente um único comprimento de onda é selecionado, de acordo com o objetivo da análise. Essa característica restringe a atuação dos mesmos e onera os custos do processo de produção.

[3] Nos últimos anos, foram desenvolvidos fotômetros que utilizam uma faixa espectral, denominados espectrofotômetros NIRs (*Near infra-red*), permitindo identificar mais parâmetros ou compostos em uma amostra ao mesmo tempo. Entretanto, sabe-se que os processos de concepção e construção desses instrumentos é complexo, pois envolve métodos quimiométricos para tratamento dos dados e possui custo bastante elevado.

[4] Como as análises nos espectrofotômetros NIR necessitam de métodos complexos, há uma dificuldade ou

impossibilidade de uso destes instrumentos por pessoas que não tenham conhecimentos prévios na área de química analítica, tais como produtores, donos de postos, frentistas e fiscais.

[5] Desse modo, a demanda para construção de fotômetros versáteis que pudessem compor variadas análises sem a necessidade de implementação de métodos quimiométricos complexos instigou o desenvolvimento da presente invenção (fotômetro), atrelado ao seu método de construção de acordo com a demanda de parâmetros a serem mensurados.

[6] Devido a possibilidade de definição e especificidade de um número de comprimentos de onda previamente selecionados, há uma menor complexidade dos sistemas óticos utilizados na presente invenção, em relação aos instrumentos comerciais que fazem uso de espectros completos dentro de uma determinada faixa espectral.

Estado da técnica:

[7] Alguns documentos do estado da técnica descrevem dispositivos similares que atuam na medição de parâmetros em componentes fluidos, utilizando-se de meios ópticos associados a fontes de luz.

[8] A patente US20060213554 apresenta um processo e sistema de análise de composições químicas contendo uma mistura de hidrocarbonetos líquidos e biodiesel, que permite identificar a concentração de biodiesel na mistura, por meio de espectroscopia no infravermelho próximo e tratamento dos dados.

[9] Identificou-se que nesta patente é realizado um cálculo matemático ou tratamento estatístico usando as absorvâncias como variáveis individuais independentes, e depois atribui-se e aplica-se constantes de ponderação ou seus

equivalentes as variáveis independentes, e, opcionalmente, aplicam-se as etapas acima usando composições conhecidas para calibrar o instrumento e determinar as constantes de ponderação ou equivalentes.

[10] No entanto não se identificou nessa Patente um protocolo específico para a seleção de variáveis, no caso comprimento de onda, sendo susceptível a interferência proveniente de outros componentes químicos de propriedades similares. Em contrapartida, o método de seleção de variáveis proposto pela presente invenção escolhe os comprimentos de onda mais informativo, montando combinações de LED-Filtros mais adequado e evitando a influência de analitos interferentes.

[11] O pedido de patente BR102012027831-6 refere-se à fotômetro de emissão de radiação NIR (*Near Infra-red*) dependente do aquecimento da amostra, com foco no uso para determinação da estabilidade oxidativa de óleos, gorduras e biodiesel.

[12] Ressalta-se que as medidas realizadas no referido instrumento necessitam de condições laboratoriais, como, por exemplo, em temperaturas elevadas e controladas, que impossibilitam as medidas de amostras termicamente sensíveis, bem como inviabilizam a atuação em campo, devido à dificuldade de portabilidade, enquanto que a presente invenção aborda um fotômetro portátil que pode ser utilizado, e manipulado por pessoas leigas em físico-química, caracterizando um modelo analítico variado para determinação da concentração ou parâmetro físico-químico da amostra.

[13] O pedido de patente US20170205338 apresenta um sistema de sensores portátil baseado na emissão de luz com

múltiplos elementos detectores, que são combinados para criar um detector multicanal capaz de medir uma ampla faixa de comprimentos de onda desde os comprimentos de onda ultravioleta (UV) até os infravermelhos próximos e médios.

[14] Apesar da ampla faixa de medição relatada e possibilidade de utilização em vários comprimentos de onda não foi possível identificar a possibilidade de avaliar vários parâmetros concomitantemente, estando atrelados diretamente ao componente específico de uma solução e/ou mistura. Ou seja, este tipo de detector ainda se restringe somente ao cálculo de concentração e, provavelmente, apresenta alta imprecisão de análise quando aplicado em misturas com componentes de propriedades muito próximas, como por exemplo: diesel e biodiesel.

[15] A dissertação de Mestrado “Desenvolvimento de Instrumentação Portátil na Região do Infravermelho Próximo (NIR) para análise de misturas Diesel/Biodiesel” publicada em 2015 descreve o desenvolvimento de dois sistemas instrumentais portáteis para determinação de biodiesel e/ou óleo vegetal em amostras de óleo diesel. Um dos sistemas desenvolvidos consiste em um fotômetro que utiliza um método de construção baseado em Transformada de Hadamard desenvolvido também com base em LEDs (Diodos emissores de Luz), filtros de interferência, fotodiodo InGaAs e controle digital por meio de placa Arduino.

[16] É importante ressaltar que o protótipo desenvolvido na dissertação supracitada se configura como uma versão piloto que foi aprimorada com o intuito de otimizar o funcionamento do dispositivo. Na versão anterior, o cálculo para obtenção dos espectros era proferido por uma média aritmética dos valores de intensidade do espectro de alta

resolução considerando a largura de banda de cada filtro.

[17] Desse modo destaca-se que, na referida invenção, os espectros dos filtros de interferência disponíveis comercialmente são utilizados com diferentes pesos, para calcular com maior precisão os espectros de menor resolução, que definem quais LEDs e filtros devem ser empregados na construção do fotômetro. Essa concepção permite uma simulação mais real do espectro teórico, o que garante a seleção de LEDs e filtros que irão proporcionar melhor precisão nos dados experimentais do fotômetro.

[18] No que se refere as características construtivas do fotômetro ressalta-se que foram reduzidas as dimensões da placa nos quais os LEDs e filtros são distribuídos. Este procedimento visou a redução da imagem formada pelos LEDs resultando na alteração de parâmetros óticos, de modo que o novo conjunto de lentes plano-convexa e biconvexa focalize a radiação no detector de forma mais eficiente, melhorando significativamente a razão sinal/ruído.

[19] O novo conjunto de lentes plano-convexa e biconvexa (f) permite focar de maneira mais eficiente a imagem dos LEDs sob o detector, possibilitando maior aproveitamento da intensidade de radiação de todos os LEDs de forma mais balanceada, o qual não era obtido com a lente esférica. Além disso, vale ressaltar que se aumentou em 20 mm a largura de janela da cubeta, implementando ainda mais o aproveitamento da radiação proveniente dos LEDs.

[20] No que se refere ao método de construção utilizado na dissertação supracitada, é importante ressaltar que a rotina de controle de pulsos dos LEDs foi realizada somente de modo multiplexado de acordo com o método de

Transformada de Hadamard, que apresentaram resultados com erros estatísticos consideráveis, demonstrando precisão relativamente baixa.

[21] Na presente invenção foi implementado um novo modelo de medida sequencial, no qual a leitura de cada par LED/Filtro é realizada individualmente e, uma nova rotina para a leitura foi desenvolvida para melhorar a sequência de medidas dos conjuntos LEDs/Filtros, ocasionando uma melhora da precisão dos resultados.

[22] Na rotina multiplexada abordada na referida dissertação, estabelecida em um fotômetro com sete LEDs, a radiação de um conjunto de 4 dos 7 são medidos a cada vez, gerando um dos sete sinais multiplexadados. Essa rotina desencadeou dois fenômenos indesejados ocorrendo simultaneamente: Interferência da radiação do conjunto de LEDs anteriormente lido em relação à leitura do LED atual; Acionamento consecutivo de um mesmo LED em três linhas da matriz de Hadamard.

[23] O primeiro fenômeno ocorria porque a leitura do conjunto de LEDs atual era realizada antes do decaimento total da radiação do conjunto de LEDs que foi desligado, incitando a baixa repetitividade. O segundo fenômeno ocasionava diferenças de medida devido às alterações das condições térmicas e de intensidade de emissão relativas a quantidade de acionamento nas linhas da matriz de Hadamard.

[24] Conforme explanado, o método de leitura sequencial implementado na presente invenção, não apresenta nenhum dos dois fenômenos descritos anteriormente e portanto resultados mais precisos foram obtidos, apresentando valor de RMSEP de 0,53% v/v de biodiesel em misturas com óleo diesel e

vegetal contra um valor de 1,94% v/v para a versão desenvolvido na dissertação de mestrado supracitada.

[25] Ademais, na presente invenção, estudos como o tempo de aumento e decaimento da intensidade da radiação quando os LEDs são pulsados foram definidos empiricamente e estes resultados permitiram aumentar a velocidade de otimização dos espectros bem como a repetitividade espectral.

Breve descrição da invenção:

[26] Aplicada na área do desenvolvimento de equipamentos para investigação ou análise química de materiais utilizando meios óticos, a presente invenção abrange um fotômetro portátil e seu método de construção por meio de seleção de variáveis em um modelo de medida sequencial, no qual a leitura de cada par de emissor LED e filtro é feita individualmente, monitorando os comprimentos de onda mais significativos para determinar o parâmetro de interesse.

Breve descrição das figuras:

[27] Para auxiliar na identificação das principais características deste produto e método, são apresentadas as figuras às quais se faz referências, conforme se segue:

[28] Na Figura 1 apresenta-se a constituição básica de um fotômetro construído pelo método descrito contendo sete pares de fontes de luz do tipo LED (a) e filtros de interferência comerciais (b). Além disso, identifica-se a presença de uma lente biconvexa (c), Suporte de cubeta(d), de uma cubeta (e), de um conjunto (f) de lente plano-convexa seguida de uma lente biconvexa e um detector baseado em um fotodiodo (g).

[29] Na Figura 2 compara-se os valores preditos

versus os valores de referência do teor de biodiesel obtidos pelos modelos de calibração multivariada utilizando dois protótipos baseados em métodos de construção diferentes. No protótipo (4A) a rotina de controle de pulsos dos LEDs foi realizada somente no modo multiplexado de acordo com o método da Transformada de Hadamard, enquanto que no protótipo (4B) foi concebido o modelo de sequencial (objeto da presente invenção), no qual a leitura de cada par LED/fonte é realizada individualmente. Isso melhorou significativamente os resultados obtidos para análise do teor de biodiesel em diesel.

[30] Na figura 3 resume-se as principais etapas referentes ao método de construção do fotômetro empregando seleção de variáveis, contendo as seguintes etapas: Definição dos comprimentos de onda mais significativos (1) por meio do modelo de calibração multivariada, Levantamento das características das fontes de emissão

Descrição detalhada da invenção:

[31] A primeira etapa (1) para a construção do fotômetro se baseia na definição dos comprimentos de onda mais importantes para a determinação de um parâmetro e /ou identificação de composto de interesse em uma amostra. A seleção destes comprimentos de onda se baseia em um modelo de calibração multivariada a partir de espectros obtidos de um conjunto de amostras cujo o parâmetro ou composto de interesse foi determinado por um método padrão. Os espectros devem ser obtidos por instrumentos comerciais com boa resolução espectral.

[32] Na segunda etapa (2) realiza-se a seleção das variáveis (comprimentos de onda) mais relevantes empregados na construção do modelo de calibração utilizando diferentes

algoritmos matemáticos que contribuem para reduzir/otimizar o número de variáveis selecionadas.

[33] A terceira etapa corresponde a seleção dos conjuntos LED-filtro comerciais aplicáveis de acordo com os comprimentos de onda definidos na etapa 2. Nesta etapa, novos modelos de calibração são construídos empregando as faixas de comprimentos de ondas definidos pela largura de banda das fontes e dos filtros de radiação fornecidos pelo fabricante. Além disso, salienta-se que são utilizadas todas as faixais espectrais definidas pelos dispositivos comerciais, inclusive nas regiões onde existem sobreposições espectrais, o que garante uma otimização mais realista das faixas de radiações produzidas pelos conjuntos de LEDs e filtros selecionados para a construção do fotômetro.

[34] Ademais, os valores de intensidade dos espectros de transmissão desses filtros foram utilizados como pesos no cálculo dos espectros de menor resolução. Essas implementações proporcionaram a obtenção de um espectro de menor resolução mais realista ou seja, mais parecido com a resposta de um espectro se fossem utilizados LEDs e Filtros.

[35] Ou seja, as intensidades do espectro de alta resolução que estão mais no centro da faixa de transmissão do filtro terão mais relevância dos que as das extremidades. Desse modo, torna-se o espectro de baixa resolução mais fidedigno às respostas espectrais do fotômetro utilizando filtros.

[36] O conceito e método empregados permitem o desenvolvimento de inúmeros instrumentos de análise química, mais especificamente, fotômetros portáteis devido ao uso de dispositivos eletrônicos simples e com baixo consumo de energia.

[37] Além disso, o instrumento apresenta alta robustez uma vez que, mesmo empregando medidas multiplexadas, não possui partes móveis, requisito desejado para um instrumento portátil. Apresenta também melhor ganho na relação sinal/ruído devido a vantagem de multiplexação Fellget, o que garante uma melhor sensibilidade aos resultados analíticos.

[38] Na quarta etapa, o conjunto de LEDs e filtros selecionados é montado em uma placa em um tipo de arranjo que permita que a radiação de cada conjunto alcance o detector ou conjuntos de detectores passando pela amostra. Para direcionar a radiação para o detector ou conjunto de detectores podem ser empregado lentes, espelhos ou fibras ópticas ou a combinação destes dispositivos.

[39] Sobre o sistema ótico do fotômetro salienta-se que existem duas lentes biconvexa localizadas na frente do detector, sendo uma de 15,0 mm e a outra de 12,5 mm de diâmetro. Este novo sistema de lentes reduz o tamanho da imagem hexagonal formada pelo conjunto de LEDs/filtros, focando-a sobre a área ativa do detector de 2 mm de diâmetro.

[40] É desejado que a fonte de radiação empregada em um fotômetro, apresente alta intensidade de emissão garantindo uma boa razão sinal/ruído, podendo ser empregada no modo contínuo ou pulsado.

[41] Para o controle dos pulsos de corrente, aplicados aos LEDs foi utilizado um microcontrolador, porém outros circuitos eletrônico mais simples podem ser utilizados para o mesmo propósito. Além do microcontrolador foi montado um circuito eletrônico analógico/digital cuja principal função é condicionar os sinais provenientes do microcontrolador para o conjunto de LEDs e os sinais provenientes do detector para

o microcontrolador.

[42] As portas eletrônicas de um microcontrolador ou outro circuito digital podem não ser capazes de fornecer as correntes necessárias para alimentar os LEDs no sistema pulsado empregado no fotômetro desenvolvido nesse processo inventivo (entre 500 a 1000 mA). Desta forma, foi necessário o emprego de um banco de transistores associados a um banco de resistores para garantir a o fornecimento das correntes necessárias para operar os LEDs no modo pulsado.

[43] As tensões aplicadas aos LEDs, bem como os valores de resistência dos resistores foram previamente determinados para fazer com que os valores de emissão dos LEDs fossem praticamente iguais. Este fato é importante para garantir que os pesos de cada variável espectral seja praticamente a mesma durante a construção do modelo de calibração multivariada melhorando os resultados finais.

[44] A radiação transmitida é detectada pelo fotodiodo do tipo InGaAs que converte o sinal de potência luminosa em corrente elétrica, proporcional à intensidade da radiação. Essa corrente gerada é convertida em diferença de potencial através de um amplificador operacional montado como conversor corrente/voltagem o qual pode ser ajustado para obter diferentes valores de ganho do sinal analítico.

[45] Outros amplificadores operacionais foram adicionados no circuito eletrônico permitindo novos estágios de ganho e também de filtros analógicos visando melhorar a razão sinal/ruído. O emprego de mais estágios de amplificação de sinal pode ser utilizado visando o uso do fotômetro em outras aplicações analíticas. O último estágio de ganho teve

a impedância ajustada para evitar distorções dos sinais provenientes do detector.

[46] Inicialmente, quando o instrumento é ligado, o microcontrolador realiza todas as configurações de inicialização e, entra em modo de espera, pronto para obter os dados da primeira amostra. Ao iniciar a coleta de dados uma sub-rotina aplica sinais TTL à base do banco de transistores que por sua vez permite que a corrente seja aplicada nos LEDs. Duas sub-rotinas foram escritas uma para o modo sequencial e outra para o modo multiplexado. No primeiro caso, os LEDs são pulsados individualmente e o sinal analítico de cada LED é lido pelo detector e seu valor é armazenado na memória do microcontrolador.

Exemplo da invenção:

[47] O protótipo construído foi empregado na análise de misturas de diesel/biodiesel/óleo vegetal.

[48] Para construção do fotômetro foram inicialmente obtidos espectros NIR, a partir de um espectrofotômetro FT-NIR, de amostras contendo diferentes concentrações de biodiesel e óleo vegetal em diesel mineral. Modelos de calibração multivariadas foram construídos e algoritmos matemáticos foram utilizados para a seleção das variáveis (comprimento de onda) mais importantes para a determinação de biodiesel e óleo vegetal nas amostras.

[49] Foram empregados para seleção das variáveis os algoritmos das projeções sucessivas (SPA – Successive Projection Algorithm) e o Algoritmo Genético (GA – Genetic Algorithm) e novos modelos de calibração foram construídos buscando otimizar o número de variáveis

[50] O modelo apresentou sete comprimentos de onda

(1240, 1260, 1320, 1340, 1360, 1440 e 1480 nm) e atendeu as normas para determinação de biodiesel e óleo vegetal em diesel definidos pela ANP.

[51] Informações como larguras de banda dos LEDs e dos filtros de interferência, potência de emissão, transparência, sobreposição de bandas, foram consideradas para selecionar as faixas de comprimentos de onda e os sinais analíticos dos espectros obtidos das amostras. Um novo modelo de calibração foi construído empregando os mesmos espectros adquiridos na etapa 1 e considerando agora as características dos LEDs e filtros de interferências pré-selecionados.

[52] Os resultados indicaram que o fotômetro pode ser montado empregando 7 LEDs os quais possuem 3 modelos diferentes, com máximos de emissão 1200, 1300 e 1450 nm, e 7 filtros de interferência com máximos de transmissão em 1240, 1260, 1320, 1340, 1360, 1440 e 1480 nm, todos com largura de banda de 20 nm.

[53] Neste caso, o conjunto de LEDs e filtros foi montado em uma placa no formato de um hexágono no qual cada conjunto LED(a)/Filtro(b) é posicionado nos vértices e um no centro da configuração. Além disso, foi empregado um conjunto de lentes que direciona a radiação para um único detector após passar pela amostra mantida em uma cubeta.

[54] A localização do conjunto de LED/filtro na placa hexagonal foi redistribuída visando deixar mais parecidas as intensidades da radiação que alcançam o detector; As dimensões do hexágono, onde estão localizados os conjuntos de LEDs/filtros foram otimizados para melhorar a relação sinal/ruído; A distância do conjunto LEDs/filtro em relação ao detector foi otimizada visando evitar distorções da radiação

ao passar pela cubeta da amostra. E, somente com estas novas configurações óticas, houve um ganho de pelo menos quatro vezes no limite de detecção na determinação de biodiesel e óleo vegetal.

[55] No que tange a fonte de radiação empregada ressalta-se que foi empregado o modo pulsado, uma vez que nesta situação a corrente aplicada no LED pode ser 50 vezes maior que no modo contínuo, melhorando consideravelmente a intensidade da radiação emitida pelos LEDs. Consequentemente, no sistema pulsado o tempo de aplicação da corrente é baixo, quando comparado ao sistema de corrente contínuo, aumentando o tempo de vida do LED.

[56] Desta forma, para obter a rotina de medida mais rápida no fotômetro, a sequência otimizada dos pulsos aplicados é descrita a seguir: um determinado LED é ligado e espera-se 200 ms para registrar o sinal médio de 1000 medições. Então, este LED é desligado e espera-se 100 ms para ligar o LED subsequente. Desta forma, o LED subsequente é acionado enquanto a radiação do primeiro LED decai e, portanto, o tempo entre os pontos de leitura desses LEDs é de 300 ms. Esta sequência continua até que todos os LEDs sejam medidos.

[57] A partir dos dados individuais de cada LEDs, obtido pelo modo sequencial é determinado o teor de biodiesel ou óleo vegetal presente na amostra medida através de um modelo de calibração empregando o algoritmo de regressão linear múltipla (RML) utilizando uma sub-rotina do programa. O modelo de calibração utilizado para este cálculo foi construído no próprio fotômetro utilizando um conjunto de amostras cujas as concentrações de biodiesel e óleo vegetal eram previamente conhecidas

[58] Uma sub-rotina foi especificamente escrita para esta finalidade empregando o algoritmo de regressão linear múltipla (RML). Esta sub-rotina permite ainda que seja realizada uma validação interna pelo método da validação cruzada total e uma validação externa com amostras que não participaram da calibração interna. Ao final são geradas as figuras de mérito para que seja avaliada a qualidade analítica da calibração.

[59] Particularmente, o tempo de espera para o novo fotômetro foi em média de 200 ms, entretanto, este tempo pode variar dependendo do modelo e das características do LED que será implementado na construção do fotômetro e, portanto, deve ser definido caso a caso.

[60] Os resultados obtidos para determinação do teor de biodiesel em misturas com diesel e óleo vegetal apresentaram valores de RMSEP (Raiz quadrada do erro médio ao quadrado) de 0,53% v/v.

REIVINDICAÇÕES

1) FOTÔMETRO PORTÁTIL **caracterizado por** compreender um conjunto de LEDs (a) com máximos de emissão em 1200, 1300 e 1450 nm e filtros de interferência (b) com máximos de emissão em 1200, 1300 e 1450 nm, dispostos em uma placa e arranjados geometricamente, com toda radiação alcançando o detector ou conjuntos de detectores de fotodiodo (g) e passando pela amostra.

2) FOTÔMETRO PORTÁTIL, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** possuir sistema ótico com uma lente biconvexa (c) diretamente anexa aos filtros (b), que produz uma imagem sobreposta (d) oriunda dos LEDs (a), de modo que a radiação passe por uma cubeta (e) e alcance o conjunto de lentes plano-convexa e biconvexa (f) com distância focal combinada, direcionando a radiação para a área sensível do detector (g).

3) FOTOMETRO PORTÁTIL, de acordo com quaisquer reivindicações de 1 a 2, **caracterizado por** cada conjunto LED(a)/Filtro(b) estar é posicionado nos vértices e um no centro de uma placa configurada no formato de um hexágono.

4) FOTOMETRO PORTÁTIL, de acordo com quaisquer reivindicações de 1 a 3, **caracterizado por** o conjunto de lentes estar configurado para direcionar a radiação para um único detector após passar pela amostra mantida em uma cubeta.

5) MÉTODO DE CONSTRUÇÃO DO UM FOTÔMETRO PORTÁTIL conforme definido na reivindicação 1, **caracterizado por** seguir

sequencialmente as etapas:

- definição dos comprimentos de onda específicos (1),
- levantamento das características dos conjuntos fonte-filtro mais adequados (2),
- seleção dos conjuntos comerciais aplicáveis (3),
- montagem mecânica do fotômetro (4).

6) MÉTODO DE CONSTRUÇÃO, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado por** a etapa (1) estabelecer um modelo de calibração multivariada a partir de espectros obtidos de um conjunto de amostras por meio de instrumentos comerciais de boa resolução, preferencialmente espectrofotômetros.

7) MÉTODO DE CONSTRUÇÃO, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado por** a etapa (2) selecionar os comprimentos de onda mais relevantes com base em algoritmos matemáticos, preferencialmente pelo modelo de medida sequencial, com leitura de cada par LED(1)/Fonte(2) realizado individualmente.

8) MÉTODO DE CONSTRUÇÃO, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado por** a etapa (3) corresponder a seleção dos conjuntos LED-filtro comerciais aplicáveis, impondo diferentes pesos nos espectros dos filtros, de acordo com os comprimentos de onda definidos pela etapa (2).

9) MÉTODO DE CONSTRUÇÃO, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado por** a etapa (4) se configurar como a montagem mecânica do fotômetro de acordo com a quantidade de pares LED(1)-Filtro(2) definidos, em associação a todo sistema ótico, bem como ao microcontrolador.

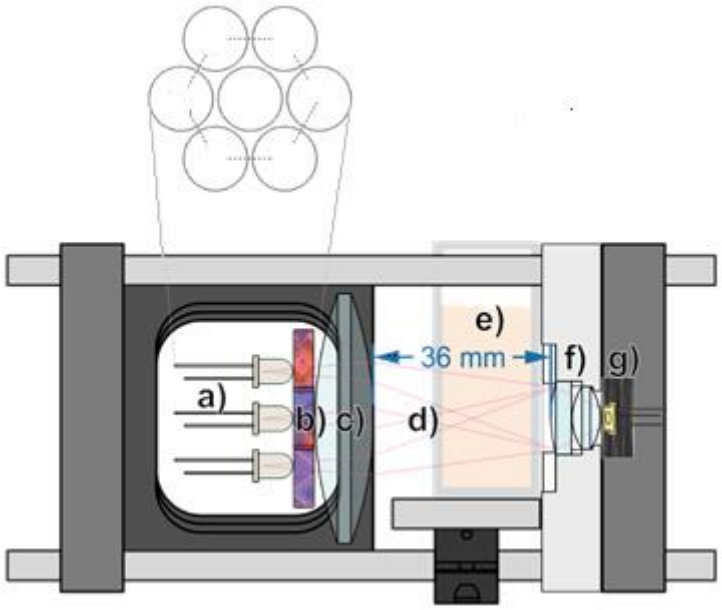

Figura 1

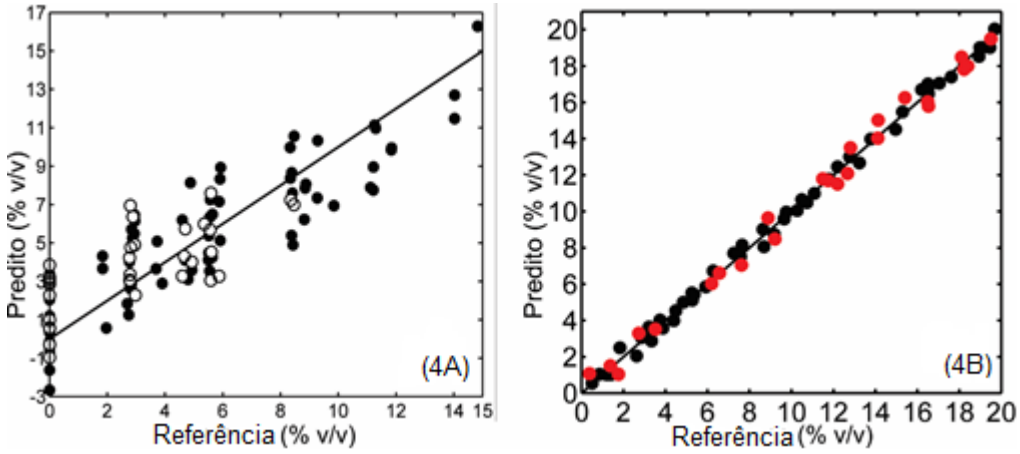

Figura 2

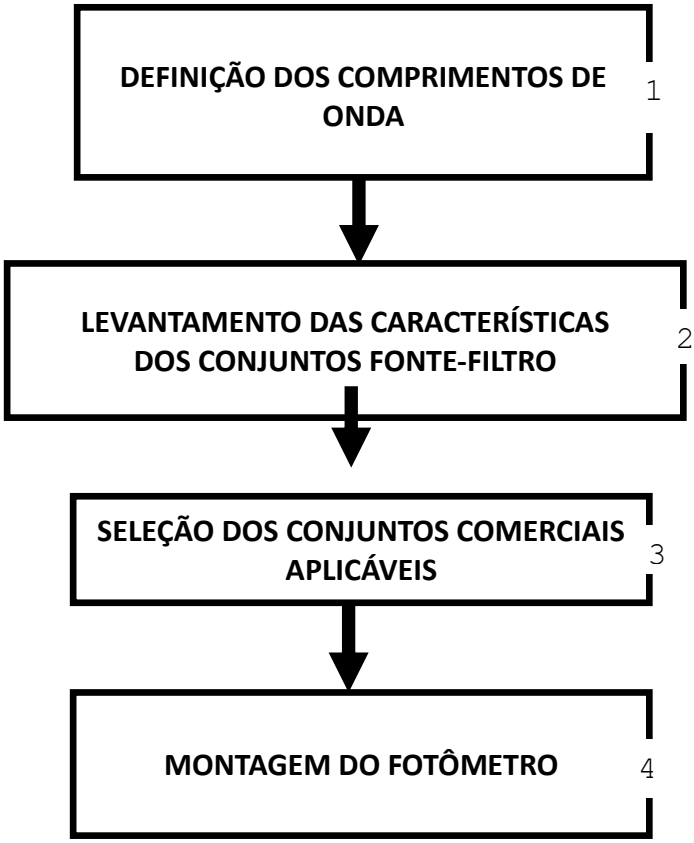
DEFINIÇÃO DOS COMPRIMENTOS DE ONDA
1
LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DOS CONJUNTOS FONTE-FILTRO
2
SELEÇÃO DOS CONJUNTOS COMERCIAIS APLICÁVEIS
3
MONTAGEM DO FOTÔMETRO
4

Figura 3