



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102019009657-8 A2



(22) Data do Depósito: 13/05/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 01/12/2020

(54) **Título:** SENSOR MICROFLUÍDICO PARA DETECÇÃO SIMULTÂNEA DE MÚLTIPLOS ADULTERANTES EM AMOSTRAS DE LEITE

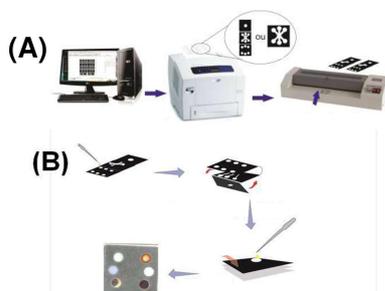
(51) **Int. Cl.:** G01N 21/78; G01N 33/04.

(52) **CPC:** G01N 21/78; G01N 33/04.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS.

(72) **Inventor(es):** WENDELL KARLOS TOMAZELLI COLTRO; GUILHERME ROBERTO DE OLIVEIRA; KAROLINY ALMEIDA OLIVEIRA; LEANDRO DE BISPO CARNEIRO; MARIO HENRIQUE PALIS SANTANA.

(57) **Resumo:** SENSOR MICROFLUÍDICO PARA DETECÇÃO SIMULTÂNEA DE MÚLTIPLOS ADULTERANTES EM AMOSTRAS DE LEITE A presente invenção refere-se à construção de um dispositivo microfluídico em papel com arranjos uni ou tridimensionais para detecção colorimétrica de adulterantes em amostras de leite. O dispositivo fabricado em papel e seu uso combinado com detecção colorimétrica oferecem várias vantagens para aplicações no point-of-care, como o baixo custo, simplicidade e acessibilidade global. As soluções de lugol, iodeto de potássio, azul de bromotimol, floroglucinol e FRAP (Poder Antioxidante de Redução de Ferro) foram utilizados como indicadores colorimétricos para a determinação de amido, peróxido de hidrogênio, hidróxido de sódio, formaldeído e antioxidantes, respectivamente. Testes de reprodutibilidade revelaram valores de desvio padrão inferior a 11%. O dispositivo proposto exibiu resposta linear no intervalo de concentração entre 25 e 100 mM, bem como, limite de detecção na faixa entre 36 e 45 mM para todos os adulterantes. A prova de conceito da presente invenção foi demonstrada com a análise de amostras de leite ($n = 30$) coletadas diretamente em diferentes propriedades rurais. Os resultados indicaram presença de um ou mais adulterantes em um total de 14 amostras. Os dispositivos propostos nessa invenção oferecem como destaques a possibilidade de realizar múltiplos ensaios simultaneamente a um custo bastante (...).



RELATÓRIO DESCRITIVO

SENSOR MICROFLUÍDICO PARA DETECÇÃO SIMULTÂNEA DE MÚLTIPLOS ADULTERANTES EM AMOSTRAS DE LEITE

[001] A presente invenção descreve o desenvolvimento de sensores colorimétricos fabricados em papel destinados à detecção de adulterantes em amostras de leite visando sua aplicação em empresas de laticínio, por agências ou órgãos (públicos ou privados), destinados principalmente à fiscalização de fraudes, por produtores rurais que queiram certificar a qualidade do leite produzido, ou ainda pela indústria alimentícia no controle de qualidade dos produtos produzidos para serem comercializados.

[002] A microfluídica é uma ciência moderna que processa ou manipula pequenas quantidades de fluidos usando canais com dimensões da ordem de micrômetros (Whitesides, G. M. *Nature*, 2006, 442, 368-373; Martinez, A. W. *et al. Anal. Chem*, 2009, 81, 5990–5998). O uso de sistemas microfluídicos oferece inúmeras vantagens incluindo, principalmente, o consumo reduzido (10^{-12} – 10^{-6} L) de amostras e reagentes, a portabilidade e a possibilidade de auto-processamento da amostra de forma autônoma com instrumentação mínima (Ahmed, S. *et al. Biosens. Bioelectron.*, 2016, 77, 249–263; Meredith, N. A. *et al. Analyst*, 2016, 141, 1874–1887).

[003] A produção de dispositivos com canais na ordem micrométrica permite a redução de custos com a matéria prima, já que muitas vezes os reagentes utilizados são extremamente caros e com processos de fabricação do próprio dispositivo, o que na atualidade, permite a fabricação de sistemas de análises complexos distribuídos em substratos de baixo custo em alguns centímetros

quadrados (Janasek, D. *et al. Nature*, 2006, 442, 374–380). A estas vantagens podemos acrescentar as facilidades de manipulação e operação dos sistemas (já que muitas vezes são portáteis e podem ser descartáveis). Além disso, o uso dos sistemas microfluídicos possibilita a automação de múltiplas etapas analíticas em uma única plataforma, além gerar menor quantidade de resíduos, fator muito importante para a proteção ambiental.

[004] Nos últimos anos, diferentes materiais vêm sendo explorados para o desenvolvimento de sistemas microfluídicos. O papel é, certamente, um dos materiais mais acessíveis mundialmente e apresenta custo extremamente baixo. Desde o fim da década de 2000, este substrato vem sendo explorado para desenvolvimento de dispositivos microfluídicos, conhecidos como “microfluidic paper-based analytical devices” (μ PADs) (Martinez, A. W. *et al. Angew. Chem. Int. Ed.*, 2007, 46, 1318–1320; Martinez, A. W. *et al. Anal. Chem.*, 2009, 81, 5990–5998). Nestes dispositivos, canais simples ou um arranjo de microcanais hidrofílicos permitem o manuseio de fluidos para aplicações em diferentes áreas do conhecimento (Almeida, M. I. G. S. *et al., Talanta*, 2018, 177, 176–190; Tian, T. *et al. Anal. Methods*, 2018, 10, 3567–3581). Normalmente, os canais microfluídicos são definidos no papel com a criação de barreiras hidrofóbicas, as quais delimitam uma área para o transporte da solução. Outra vantagem do uso dos μ PADs se refere à versatilidade e possibilidade de integração com vários sistemas de detecção incluindo, por exemplo, a detecção colorimétrica (Dungchai, W. *et al., Anal. Chim. Acta*, 2010, 674, 227–233; Rattanarat, P. *et al., Anal. Chem.*, 2014, 86, 3555–3562).

[005] Os sensores colorimétricos funcionam com o surgimento ou alteração na

coloração de uma reação química, que podem ser utilizado para respostas rápidas, como “sim” ou “não”. Além disso, a intensidade da coloração se relaciona diretamente com a concentração do analito, permitindo assim realizar uma análise quantitativa. A cor pode ser monitorada visualmente ou mediante o uso de sistemas eletrônicos de captura como scanners, câmeras digitais ou dispositivos móveis como tablets ou smartphones (Morbioli, G. G. *et al.*, *Anal. Chim. Acta*, 2017, 970, 1–22).

[006] Quando comparado com os dispositivos microfluídicos convencionais, fabricados em vidro, silício ou polímeros, os μ PADs são mais acessíveis, não requerem equipamentos de alto custo e permitem o manuseio espontâneo da solução via capilaridade. Usualmente, os canais podem ser fabricados empregando-se simples ou múltiplas camadas. No caso dos sistemas com camadas simples, a criação de barreiras hidrofóbicas define canais unidimensionais (Carrilho, E. *et al.*, *Anal. Chem.* 2009, 81, 7091–7095).

[007] Com relação aos sistemas multicamadas, Liu e Crooks reportaram uma metodologia para a fabricação de dispositivos microfluídicos de papel em arranjos tridimensionais (3D), baseando-se no princípio dos origamis (dobradura de papel) (Liu, H. *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2011, 133, 17564–17566). Neste método, devido à porosidade do papel, o fluído pode ser distribuído tanto lateralmente quanto verticalmente, permitindo o transporte da amostra a partir de uma única entrada para inúmeras zonas de detecção. Essa propriedade é interessante para uso em situações onde a análise de múltiplos analitos se faz necessária. Um dos exemplos são a identificação de adulterantes em bebidas diversas, como refrigerantes, cervejas, uísques e também bebidas lácteas

(Busa, L. *et al.*, *Micromachines*, 2016, 7, 1–21; Cardoso, T. M. G. *et al.* *Chem. Commun.*, 2017, 53, 7957–7960).

[008] O leite é um alimento presente no consumo diário na maioria das residências dos brasileiros. A qualidade deste alimento pode ser comprometida pela adoção de métodos fraudulentos, resultando em um produto com qualidade inferior a declarada, podendo afetar a saúde humana e lesar o consumidor economicamente (Luther, J. L. *et al.*, *Anal. Methods*, 2017, 9, 5674–5683; Handford, C. E. *et al.*, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2016, 15, 130–142).

[009] Para garantir a idoneidade do produto, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) especifica os padrões de identidade e qualidade do leite cru, proibindo a presença de adulterantes e estabelecendo as condições adequadas de armazenamento e transporte do produto extraído na fazenda. Algumas amostras de leite são adulteradas com água para aumentar seu volume, e para reconstituir a sua densidade é utilizado o amido e neutralizantes da acidez, como o hidróxido de sódio. Substâncias fraudulentas como o formol e o peróxido de hidrogênio e antioxidantes são utilizadas para inibição da atividade microbiana e conservação, respectivamente (Jeong, H.-S. *et al.*, *Toxicol. Res.*, 2015, 31, 273–278; de Souza, G. C. *et al.*, *Food Control*, 2014, 46, 127–135). Estas substâncias citadas são as mais comumente encontradas no leite podendo afetar a saúde do consumidor.

[010] No Brasil, as análises preliminares de adulterantes, tal como o peróxido de hidrogênio, são realizadas por profissionais não qualificados para esta função, que decidem através de alguns testes se as amostras serão recolhidas ou descartadas. No entanto, outros testes para verificar a idoneidade do leite

requerem de um processo trabalhoso e exigem instrumentação adequada. Diante disso, surge a necessidade do desenvolvimento de dispositivos analíticos que possam ser utilizados no *point-of-care* trazendo confiabilidade, simplicidade, custo reduzido, facilidade de operação e sem a necessidade de instrumentação adequada. Além do mais, um teste multiplex que forneça resultados em um curto intervalo de tempo pode ser atrativo para a indústria, para os órgãos de fiscalização e até mesmo para os produtores rurais, de modo a monitorar a qualidade do leite antes do envio para os laticínios.

[011] Pensando nisso, o nosso grupo de pesquisa desenvolveu um sensor microfluídico em substrato de papel contendo reagentes colorimétricos adicionados em áreas específicas para a detecção de múltiplos adulterantes em amostras de leite. Vale ressaltar que é necessária apenas uma gota de leite (~30 μL) para a realização da análise. Após a adição da amostra, a mesma é transportada pelos canais microfluídicos, de forma espontânea e sob ação da capilaridade, para as zonas de detecção contendo os reagentes. A interação da amostra com os reagentes colorimétricos indica a presença dos adulterantes, caso tenha mudança de cor. O dispositivo apresenta simplicidade e baixo custo de produção, tornando se adequado para fabricação em larga escala. A rápida obtenção da resposta colorimétrica (< 5 min) sem necessidade de equipamentos é apropriada a análise no campo ou em áreas de difícil acesso.

[012] Além disso, embora os reagentes estejam previamente adicionados às zonas de detecção, os mesmos apresentam estabilidade aceitável há um médio prazo. Adicionalmente, a facilidade na personalização da estrutura do sensor microfluídico é outro ponto atrativo e vantajoso, uma vez que a mudança na

configuração pode ser realizada de forma simples e rápida permitindo a confecção de arranjos uni ou tridimensionais. Outra característica interessante está associada com a facilidade operacional, pois não requer treinamento específico para o uso dos sensores desenvolvidos.

[013] O sensor microfluídico desenvolvido para detecção de adulterantes em amostras de leite tem potencialidade para ser comercializado e explorado por indústrias ligadas aos setores alimentícios, de laticínios, órgãos públicos ou setores responsáveis pela fiscalização e controle de qualidade. Podem ser criados kits comerciais que contenham os indicadores colorimétricos para análise. A análise pode ser feita por qualquer pessoa, visto que uma eventual mudança de coloração no dispositivo indica que a qualidade do leite foi adulterada.

[014] O principal diferencial desse dispositivo, refere-se à potencialidade de conduzir múltiplos testes simultaneamente usando um único dispositivo. Do ponto de vista econômico, esse diferencial é bastante atrativo para o setor produtivo, uma vez que a minimização do tempo de análise e a capacidade de processamento em paralelo podem maximizar os lucros.

[015] Atualmente, existe uma ampla variedade de tecnologias direcionadas para o desenvolvimento de dispositivos analíticos para detecção de adulterantes em leite. Dentre estas destacam-se as patentes "*Test paper slip for testing adulterated milk rapid*" (N10225330337 A/ 2011) e "*Kit to detect milk adulteration*" (WO/2015/132648). Nesta primeira invenção, os autores descrevem testes em tiras para quatro adulterantes em amostras de leite (amido, ureia, alcalinidade e composição salina) sendo que estes adulterantes são encontrados na maioria

dos casos na China. Os autores descrevem que o processo é vantajoso, uma vez que a invenção pode detectar individualmente e com alta precisão e sensibilidade os adulterantes em uma amostra de leite. No entanto, os autores utilizam na determinação de sal o reagente cromato de potássio e alertam para não tocar diretamente na tira de papel, pois o composto é cancerígeno.

[016] Na segunda invenção, os autores apresentam um kit para detectar, pelo menos um adulterante no leite. Os adulterantes que podem ser detectados nas tiras (*test strip*) são: açúcar de cana, peróxido de hidrogênio, maltodextrina, glicose, amônia, ureia, nitratos, sulfatos, detergentes, neutralizadores, amido e formaldeído. Os autores descrevem a invenção como uma alternativa rápida de detecção. O kit inclui substrato e tiras de teste que são utilizadas de forma independente com reagentes para a detecção de um ou mais adulterantes no leite. A grande desvantagem desta invenção é que as tiras são independentes.

[017] Outras características e vantagens da invenção irão surgir a partir da descrição que é fornecida abaixo, com propósitos de informação e de modo algum exaustiva, e em referência às seguintes Figuras

- a Figura 1 descreve a instrumentação necessária para o processo de fabricação do dispositivo microfluídico em papel (μ PADs), bem como também dois exemplos de layout (uni e tridimensional). Está representado em (a) um computador equipado com um software gráfico para o desenho do dispositivo, (b) impressora à cera, (c) layout da configuração tridimensional, (d) layout da configuração unidimensional e (e) laminadora térmica. Em seguida, está representado em (i) a adição dos reagentes colorimétricos no dispositivo microfluídico em papel 3D, (ii) dobragem e selagem, (iii) adição da amostra e (iv)

resultado colorimétrico após a adição da amostra.

- a Figura 2 apresenta os testes de reprodutibilidade das amostras padrão de Formaldeído (CH_2O), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), Antioxidante ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_5$), Amido ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) e Hidróxido de sódio (NaOH). Está representado em (A) e (B) a resposta para o ensaio com os dispositivos uni e tridimensional, respectivamente.

- a Figura 3 apresenta os resultados para o teste de estabilidade das amostras adulteradas durante o período de 28 dias nas temperaturas em (A) 4°C e (B) 25°C .

- as Figuras 4 e 5 apresentam as curvas analíticas obtidas em amostra padrão dos adulterantes: amido, antioxidante, hidróxido de sódio, peróxido de hidrogênio e formaldeído nos dispositivos uni e tridimensional, respectivamente.

- as Figura 6 apresenta uma representação esquemática da adição da amostra pura e os cinco adulterantes peróxido de hidrogênio (H_2O_2), amido ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$), hidróxido de sódio (NaOH), antioxidante ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_5$) e formaldeído (CH_2O) nos dispositivos microfluídico (A) unidimensional e (B) tridimensional.

- a Tabela 1 apresenta os resultados para os dispositivos que foram explorados para análise de campo em diferentes amostras de leite cru ($n = 30$).

Amostras	Peróxido de hidrogênio	Amido	Antioxidante	Formaldeído	Hidróxido de sódio
00062	-	-	-	-	-
0842	-	-	-	-	-
17118	-	-	-	-	-
015620	+	+	+	-	-
015626	+	+	+	-	-
15663	-	-	-	-	-
15676	-	-	-	-	-
0808	-	-	+	-	-

015622	-	-	+	-	-
15658	-	-	-	-	-
16901	-	-	+	-	-
15672	+	+	+	-	-
15667	+	-	+	-	-
15686	-	-	-	-	-
01140	-	-	+	-	-
15758	-	-	+	-	-
15673	-	-	-	-	-
15683	-	=	-	-	-
15672	+	+	+	-	-
17159	-	-	+	-	-
15976	-	-	-	-	-
17097	-	-	+	-	-
15203	-	-	-	-	-
17146	-	-	-	-	-
01145	+	+	+	-	-
15662	-	+	+	-	-
17092	-	-	-	-	-
15659	-	-	-	-	-
15739	-	-	-	-	-
0146	-	-	-	-	-

Tabela 1. Representação dos resultados obtidos para os dispositivos unidimensional que foram explorados para análise de campo em diferentes amostras de leite cru (n = 30).

[018] O presente invento descreve a fabricação de um dispositivo (sensor) microfluídico fabricado em plataforma de papel com arranjos uni ou tridimensionais para diagnosticar adulterações em amostras de leite. Nesse invento, testes para detecção de formol, peróxido de hidrogênio, amido, antioxidantes e pH foram desenvolvidos. Inicialmente, a configuração do dispositivo foi desenhada no programa gráfico Corel Draw X7 e impresso em papel cromatográfico com auxílio de uma impressora à cera. Uma vez que a cera foi impressa sobre o papel, o dispositivo foi colocado em uma estufa aquecida à 150 °C por um período de aproximadamente 2 minutos. Este processo de aquecimento permite que a cera derreta e penetre na estrutura porosa do papel cromatográfico (Whatman nº1), tanto vertical como horizontalmente, criando um

bloqueio hidrofóbico ao longo do papel, formando assim uma barreira responsável por delimitar um caminho para a solução percorrer espontaneamente sob ação da força capilar (Carrilho, E., *et al.*, *Anal. Chem.*, 2009, 81, 7091–7095).

[019] Para os arranjos unidimensionais, os dispositivos foram preparados em uma única etapa de impressão, seguida pelo aquecimento para formação das barreiras. Por outro lado, o dispositivo estruturado em 3D foi montado em 3 etapas: (1) primeiro, um orifício foi projetado em uma primeira camada (camada superior) para permitir a adição da amostra de leite; (2) na camada intermediária foi desenhado um arranjo de seis microzonas interligadas a uma zona central por meio de canais microfluídicos. Nesse caso, a zona central foi alinhada com o orifício da camada superior de modo a permitir que a solução seja transferida para a camada intermediária sob ação do fluxo vertical; (3) por último, a camada inferior foi preparada pela confecção de seis zonas de detecção, alinhadas com a camada intermediária. Essas áreas foram usadas para adição dos reagentes colorimétricos específicos para cada ensaio proposto, os quais indicam as alterações através da mudança da coloração, caso a amostra esteja adulterada.

[020] Uma folha de papel cromatográfico (20 cm x 20 cm) resulta em 14 dispositivos que são cortados com auxílio de uma tesoura. Após o preparo do arranjo 3D, fez-se a adição dos reagentes colorimétricos nas zonas de detecção dedicadas a cada ensaio. Alíquotas de 1 µL das soluções dos reagentes iodeto lugol (0,1 M), floroglucinol (0,1 M), azul de bromotimol (0,01 M), iodeto de potássio (0,9 M) e o método FRAP foram adicionadas às zonas de detecção. Após a secagem à temperatura ambiente, este mesmo procedimento foi

realizado mais duas vezes. Em seguida, os dispositivos foram selados com o auxílio de uma cola escolar para unir as três camadas.

[021] No sistema microfluídico construído com arranjo unidimensional, a amostra de leite é adicionada ao centro e, sob ação da capilaridade, ela migra através dos canais microfluídicos até alcançar as zonas de detecção. A presença dos analitos citados acima pode ser visualizada pela alteração na cor dentro de cada microzona. Já para os dispositivos 3D, a amostra de leite, quando adicionada à parte superior do dispositivo, flui verticalmente sob ação do fluxo vertical transferindo toda a amostra para a camada intermediária. Nessa camada, a amostra migra uniformemente na direção das microzonas. Ao atingir essa região, a amostra migra, novamente sob ação do fluxo vertical, para a camada inferior, região contendo as microzonas previamente modificadas com os reagentes específicos. Para obtenção da resposta, o presente invento propõe uma resposta qualitativa ao olho nú, ou seja, uma resposta “sim” ou “não” pode ser obtida por uma simples mudança de coloração. Além disso, a estrutura microfluídica permite a detecção simultânea de vários analitos indicadores de adulterações. Caso seja necessária uma análise quantitativa, a captura da imagem com uma câmera de celular pode permitir a digitalização para posterior análise da intensidade de pixels, o que permite correlacionar a resposta obtida com a concentração analítica.

[022] O dispositivo na configuração unidimensional na presente invenção foi demonstrada com a análise de amostras de leite coletadas diretamente em diferentes propriedades rurais. Ao todo, os dispositivos desenvolvidos foram explorados para análise de 30 amostras (Tabela 1). Os resultados indicaram

presença de um ou mais adulterantes em um total de 14 amostras.

REIVINDICAÇÕES

SENSOR MICROFLUÍDICO PARA DETECÇÃO SIMULTÂNEA DE MÚLTIPLOS ADULTERANTES EM AMOSTRAS DE LEITE

- 1) Sensor microfluídico confeccionado em plataforma de papel para detecção simultânea de múltiplos adulterantes em amostras de leite, caracterizado pelo monitoramento colorimétrico de substâncias fraudulentas.
- 2) Sensor microfluídico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do dispositivo ser fabricado com impressora à cera em arranjos uni ou tridimensionais.
- 3) Sensor microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato do dispositivo ser fabricado em papel cromatográfico, papel de filtro, papel qualitativo, papel quantitativo, papel sulfite ou papel reciclado.
- 4) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de monitorar colorimetricamente os adulterantes: amido, antioxidante, formaldeído, hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio.
- 5) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de poder acrescentar mais do que o monitoramento dos cinco adulterantes em qualquer formato geométrico.
- 6) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado pela possibilidade de modificar quimicamente as zonas de detecção com reagentes marcadores ativando grupos funcionais para ligações covalentes.
- 7) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 6 caracterizado pelo fato da configuração e métodos de fabricação.

- 8) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 7, caracterizado pela possibilidade de realizar análises colorimétricas de natureza qualitativa ou quantitativa com scanner de bancada, scanners portáteis, câmeras digitais, câmeras de celular, microscópios portáteis, colorímetros e espectrofotômetros.
- 9) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de apresentar respostas seletivas aos ensaios amido, antioxidante, formaldeído, hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio.
- 10) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato do dispositivo ser aplicado de maneira análoga para outros ensaios como: melanina, ureia, antibióticos, amônia, nitrato, glicose, sais e detergentes.
- 11) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de maneira simultânea das amostras serem automatizados por um sistema robótico.
- 12) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de conter os reagentes colorimétricos incorporados na superfície do papel por processos químicos ou físicos.
- 13) Dispositivo microfluídico, de acordo com as reivindicações 1 a 12 caracterizado pela possibilidade de usar nanomateriais, tais como nanopartículas, nanotubos, nanocamadas, dentre outros, para melhorar desempenho do sensor desenvolvido.

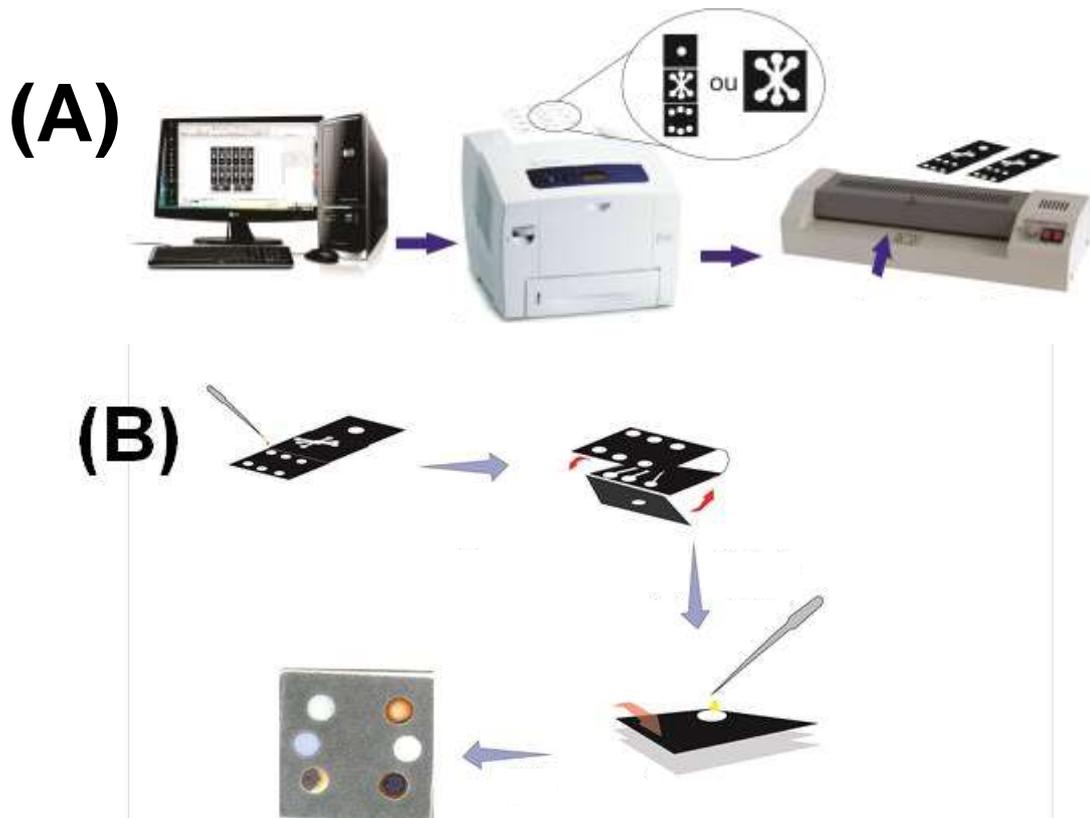


Fig. 1

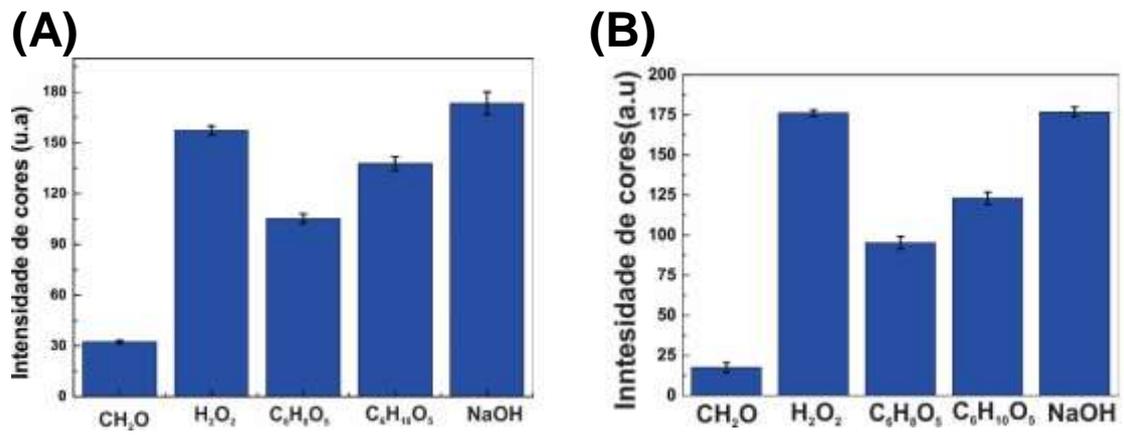


Fig. 2

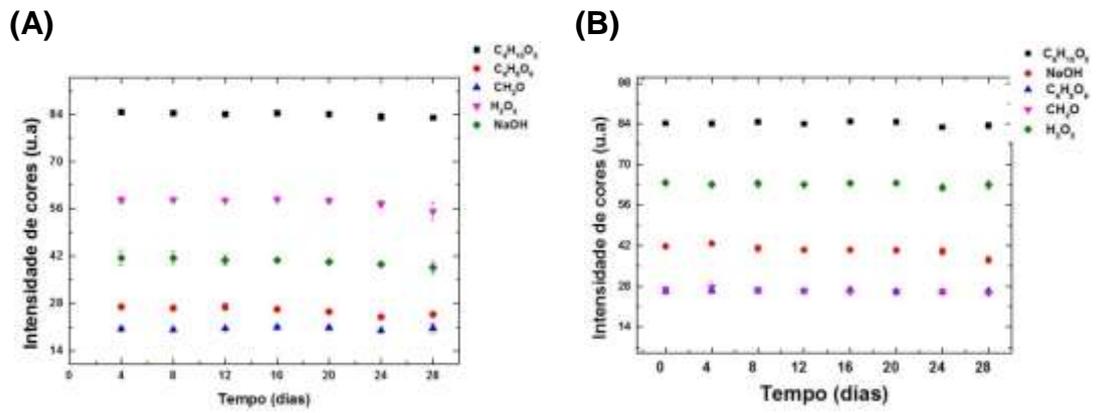


Fig. 3

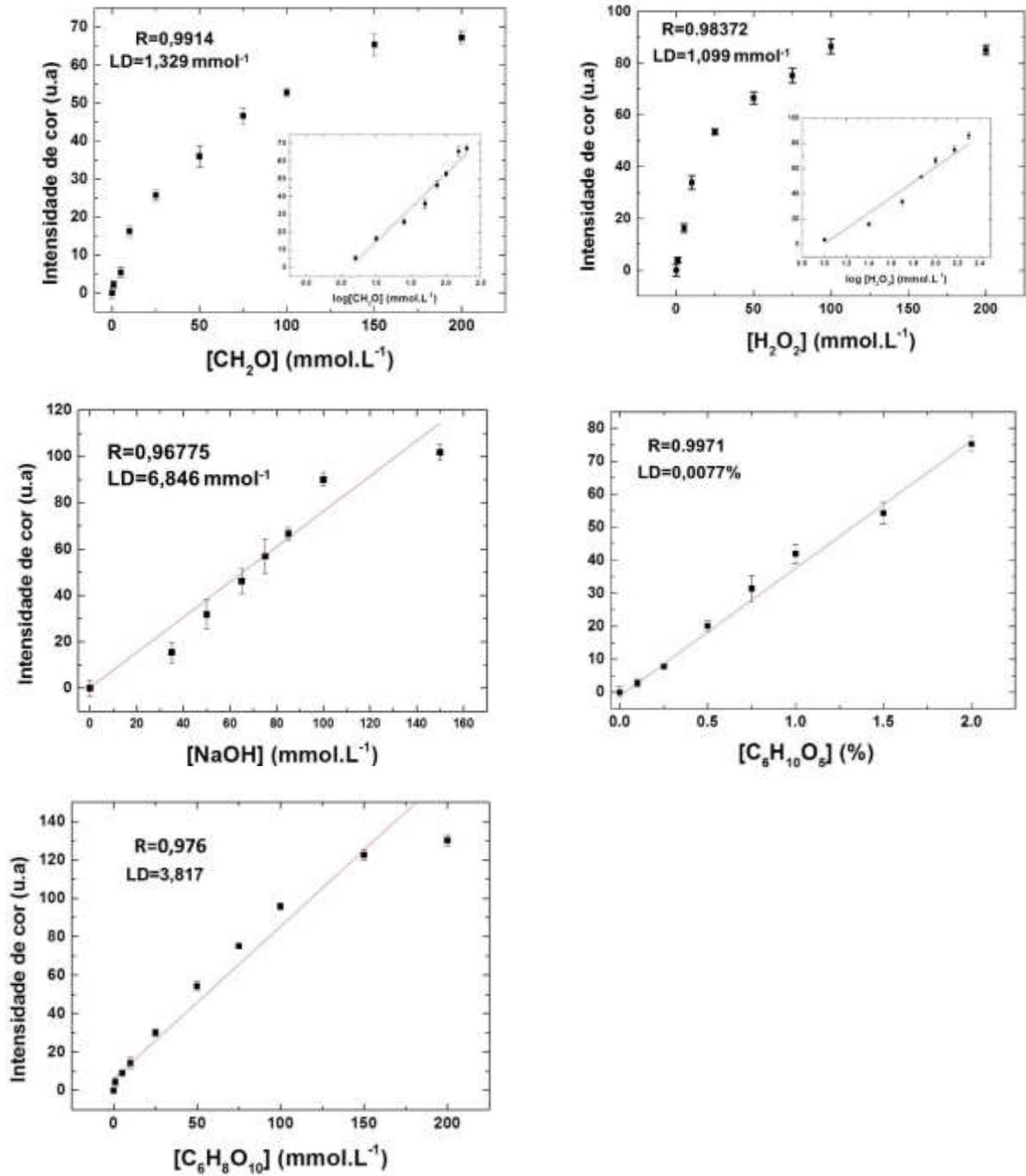


Fig. 4

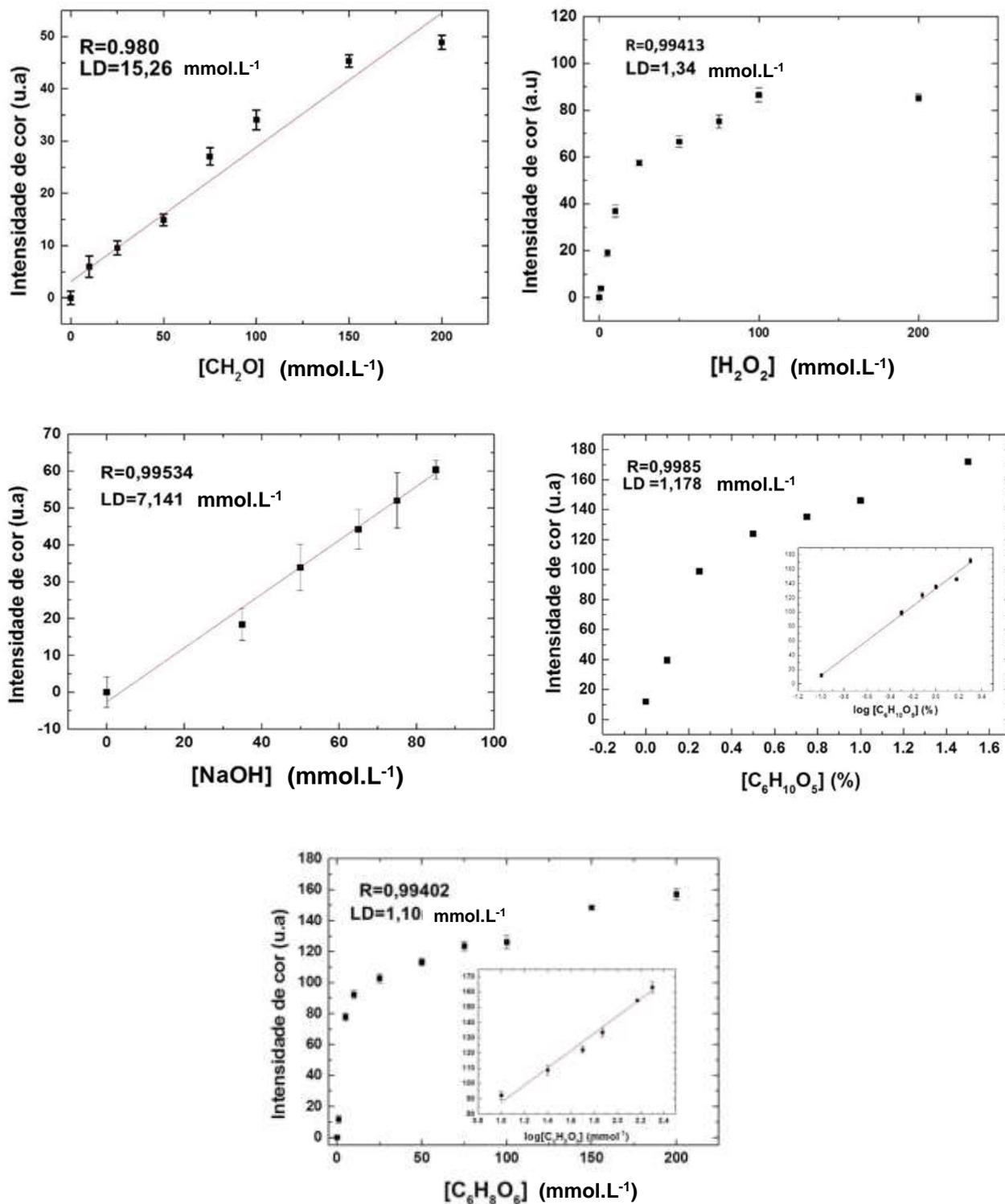


Fig. 5

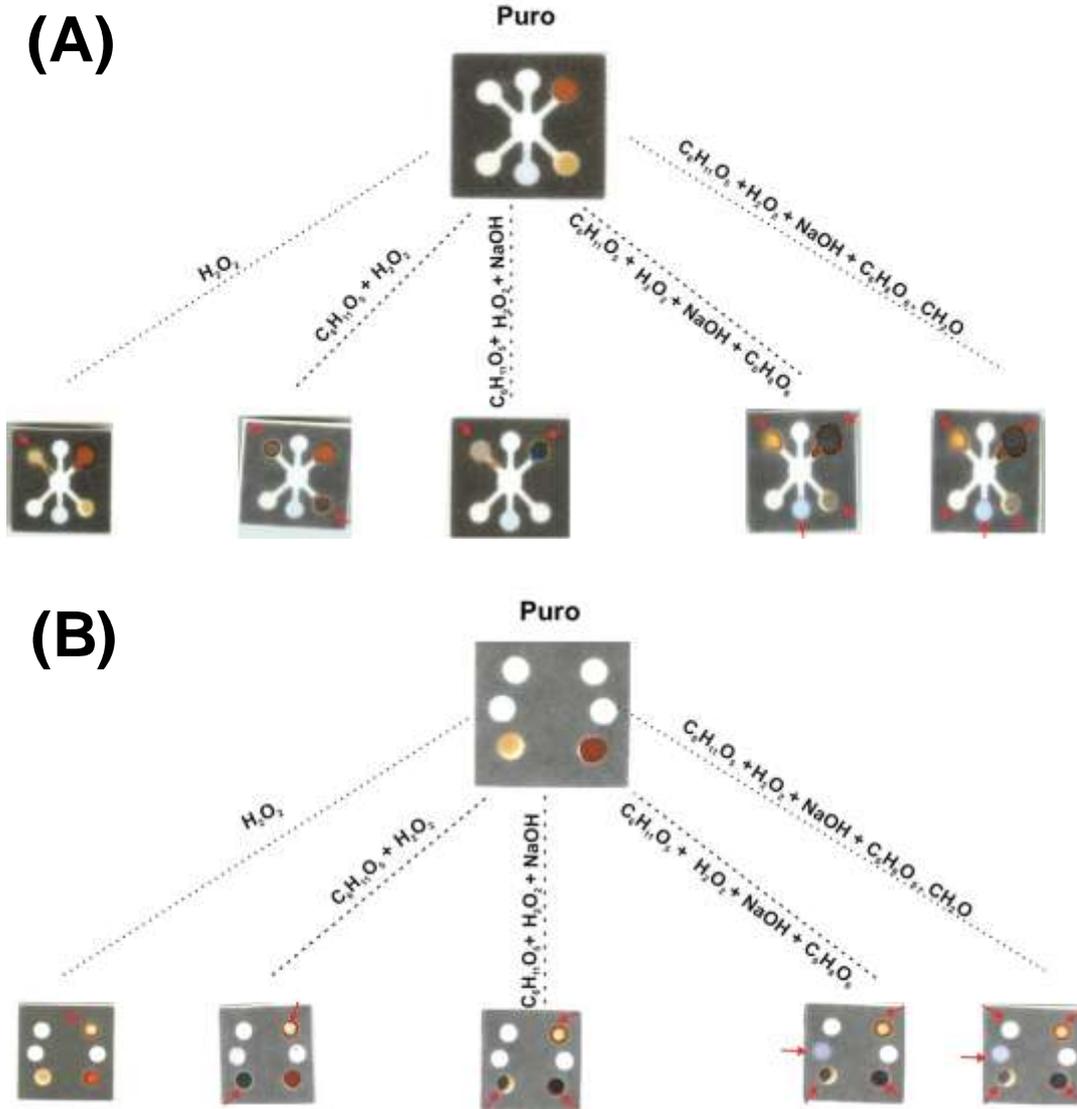


Fig. 6

RESUMO

SENSOR MICROFLUÍDICO PARA DETECÇÃO SIMULTÂNEA DE MÚLTIPLOS ADULTERANTES EM AMOSTRAS DE LEITE

A presente invenção refere-se à construção de um dispositivo microfluídico em papel com arranjos uni ou tridimensionais para detecção colorimétrica de adulterantes em amostras de leite. O dispositivo fabricado em papel e seu uso combinado com detecção colorimétrica oferecem várias vantagens para aplicações no *point-of-care*, como o baixo custo, simplicidade e acessibilidade global. As soluções de lugol, iodeto de potássio, azul de bromotimol, floroglucinol e FRAP (Poder Antioxidante de Redução de Ferro) foram utilizados como indicadores colorimétricos para a determinação de amido, peróxido de hidrogênio, hidróxido de sódio, formaldeído e antioxidantes, respectivamente. Testes de reprodutibilidade revelaram valores de desvio padrão inferior a 11%. O dispositivo proposto exibiu resposta linear no intervalo de concentração entre 25 e 100 mM, bem como, limite de detecção na faixa entre 36 e 45 mM para todos os adulterantes. A prova de conceito da presente invenção foi demonstrada com a análise de amostras de leite (n = 30) coletadas diretamente em diferentes propriedades rurais. Os resultados indicaram presença de um ou mais adulterantes em um total de 14 amostras. Os dispositivos propostos nessa invenção oferecem como destaques a possibilidade de realizar múltiplos ensaios simultaneamente a um custo bastante reduzido.