

# TECNOLOGIA PORTÁTIL BASEADA EM SENSORES QUÍMICOS PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO DE BEBIDAS

PORTABLE TECHNOLOGY BASED ON CHEMICAL SENSORS FOR  
DETECTING BEVERAGE ADULTERATION

Engenharias, Ciências da Saúde • 16/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/781655893](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781655893)

Clara Thalysa de Barros Santos<sup>1</sup>

Jean Mark Lobo de Oliveira<sup>2</sup>

Jean Carlos Araujo de Figueiredo<sup>3</sup>

Aguinaldo Alves Braga Neto<sup>4</sup>

## RESUMO

Garantir que o que consumimos seja seguro é um dos maiores desafios atuais, especialmente quando fraudes em bebidas colocam a saúde pública em risco, o que motivou este trabalho a buscar uma solução real através de uma tecnologia portátil baseada em sensores químicos, focada em identificar adulterações na hora, sem complicação. Usando como base uma mistura nutritiva de acerola com água de coco, desenvolvemos um protótipo inteligente que utiliza leitura óptica para entender a "assinatura" da bebida, eliminando aquela demora dos laboratórios e o uso de produtos químicos perigosos durante os testes. Os resultados não poderiam ser melhores, pois o sistema mostrou uma sensibilidade impressionante para achar metanol e outros contaminantes em poucos segundos, conseguindo separar com clareza o que é um produto puro de um produto "batizado", o que prova que esse dispositivo é totalmente viável para ser usado por fiscais ou até no dia a dia do comércio. No fim das contas, o projeto entrega uma ferramenta simples, barata e muito precisa, que devolve a confiança para o setor de bebidas e garante que a inovação tecnológica sirva, antes de tudo, para proteger a vida das pessoas.

**Palavras-chave:** Segurança Alimentar; Sensores Químicos; Detecção de Fraudes; Bebidas Mistas; Tecnologia Portátil.

## ABSTRACT

Ensuring that what we consume is safe is one of today's greatest challenges, especially when beverage fraud puts public health at risk, which is what motivated this study to seek a real-world solution through portable technology based on chemical sensors, designed to identify adulteration on the spot, without any hassle. Using a nutritious blend of acerola and coconut water as a base, we developed a smart prototype that uses optical reading to

understand the beverage's unique "signature," cutting out long laboratory waits and the use of hazardous chemicals during testing.<sup>1</sup> The results could not have been better, as the system showed impressive sensitivity in detecting methanol and other contaminants within seconds, clearly distinguishing pure products from "tampered" ones, which proves that this device is fully viable for use by inspectors or even in daily trade. Ultimately, this project delivers a simple, affordable, and highly accurate tool that restores confidence in the beverage sector and ensures that technological innovation serves, above all else, to protect people's lives.

**Keywords:** Food Safety; Chemical Sensors; Fraud Detection; Mixed Beverages; Portable Technology.

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação crescente com a segurança alimentar tem motivado a criação de tecnologias que conseguem identificar fraudes de um jeito rápido e acessível, onde o uso de sensores químicos se destaca por permitir analisar o conteúdo em tempo real sem precisar abrir a embalagem ou usar misturas complexas. Essas ferramentas aproveitam princípios físico químicos para observar como as moléculas reagem a radiações ou materiais sensíveis, conseguindo detectar substâncias perigosas e garantindo que o uso dessas soluções se torne muito mais viável fora dos grandes laboratórios visto que os aparelhos estão cada vez menores e conectados a sistemas digitais.

As fraudes representam um risco sério para a saúde pública e exigem uma resposta rápida da sociedade e dos fiscais, pois em locais onde o controle sanitário é menor a verificação da qualidade ainda demora muito por depender de exames laboratoriais difíceis o

que acaba atrasando a prevenção de riscos. Segundo pesquisadores da Universidade Estadual da Paraíba é possível identificar adulterações em bebidas alcoólicas em poucos segundos sem uso de produtos químicos e com alta precisão (UEPB, 2025), mostrando que o investimento em dispositivos portáteis e baratos é o melhor caminho para garantir que mais pessoas tenham acesso a testes eficientes e seguros.

Essa busca por controle de qualidade impulsiona o projeto de sensores portáteis capazes de ler a composição química dos produtos através de técnicas como a espectroscopia, que identifica a assinatura única de cada substância para apontar variações suspeitas de forma imediata. Ao integrar esses sensores com processadores de sinais a análise acontece na hora, o que garante que o sistema seja sensível e confiável para avançar na segurança alimentar criando métodos que funcionem bem tanto no dia a dia quanto em operações oficiais de fiscalização.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O avanço na criação de bebidas e a manutenção da sua qualidade exigem um suporte que conecte a inovação com o bem estar de quem consome, onde a ciência de alimentos trabalha tanto no desenvolvimento de misturas nutritivas quanto no combate rigoroso a fraudes. A transformação desse mercado no Brasil demonstra um interesse real por itens práticos, mas também acende um alerta sobre a necessidade de métodos de análise que identifiquem substâncias perigosas vindas de produções sem controle. Ao unir a riqueza de frutas como a acerola e o coco com sistemas de monitoramento modernos, é possível fortalecer o setor e garantir que a saúde pública não seja colocada em risco por práticas ilegais.

## **2.1. O Setor de Bebidas Não Alcoólicas e a Inovação em Bebidas Mistas**

A indústria brasileira de bebidas funciona como um motor econômico de grande impacto, se destacando pela agilidade em se renovar e diversificar o que oferece para um público que prioriza saúde e facilidade no dia a dia. Nesse contexto, as bebidas mistas aparecem como uma estratégia inteligente, permitindo misturar polpas e ingredientes vegetais para atingir sabores diferenciados e melhorar o valor nutricional, servindo ainda como uma ferramenta para evitar o desperdício de frutas que sobram nas colheitas. Esses preparos, conhecidos tecnicamente como blends, buscam o equilíbrio ideal entre o prazer de beber e os benefícios funcionais, aproveitando a ótima aceitação que as frutas tropicais possuem no paladar brasileiro (OLIVEIRA, 2023).

## **2.2. Segurança Alimentar e o Risco de Adulteração em Bebidas**

A integridade de tudo o que é vendido para beber é um ponto crucial para a saúde de todos, principalmente quando a ganância por lucros maiores motiva a fabricação clandestina de produtos que imitam marcas caras ou populares. O grande perigo das bebidas falsificadas mora na falta de critério com as matérias primas, já que substituir componentes seguros por insumos industriais pode colocar venenos invisíveis no corpo humano. Ao olhar para o histórico de análises feitas em laboratórios de referência, percebe-se que a fabricação de produtos enganosos é um problema que persiste ao longo dos anos, desafiando constantemente o trabalho das autoridades e dos órgãos de vigilância (NAGATO et al., 2001).

## **2.3. Toxicidade do Metanol e Impactos na Saúde Pública**

O metanol é um tipo de álcool que até aparece em doses mínimas e naturais nas frutas, mas sua presença em grandes quantidades em bebidas batizadas é uma das maiores causas de internações e mortes no país. Beber mesmo uma pequena quantidade dessa substância, que muitas vezes é usada em fraudes por ser barata, pode causar desde enjoos e vômitos até danos severos e permanentes no sistema nervoso central. Registros de fiscalização mostram casos graves onde o desrespeito aos limites da lei causou cegueira definitiva em consumidores, o que prova a importância de manter um monitoramento rígido sobre os níveis permitidos pela legislação (NAGATO et al., 2001).

#### **2.4. Características Físico-químicas e Nutricionais da Acerola e Água de Coco**

Misturar a acerola com a água de coco resulta em uma bebida de alto desempenho biológico, pois junta o poder antioxidante das vitaminas com os minerais essenciais para manter o corpo hidratado. Enquanto a acerola é famosa mundialmente por ser magra em calorias e riquíssima em ácido ascórbico, a água de coco se firma como um repositivo natural de potássio que é perfeito para o clima quente das regiões tropicais. Durante o preparo dessas bebidas, é essencial observar de perto fatores como o pH e os níveis de açúcar, pois são esses indicadores que garantem que o produto continue estável e nutritivo até chegar ao copo do consumidor final (OLIVEIRA, 2023).

#### **2.5. Tecnologias de Identificação e Controle de Qualidade**

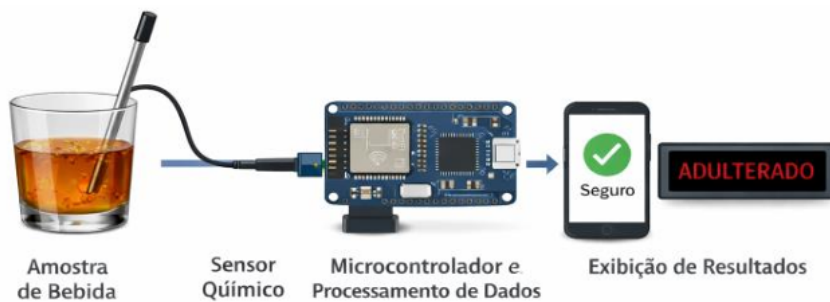
Para bater de frente com as falsificações e assegurar que o rótulo diga a verdade, a criação de sensores químicos e testes rápidos se

tornou o foco principal da tecnologia de alimentos hoje em dia. Embora métodos tradicionais como a cromatografia em fase gasosa entreguem resultados muito precisos dentro do laboratório, as novas ferramentas portáteis tentam levar essa segurança para dentro dos bares e locais de venda. Conseguir identificar uma fraude em questão de segundos e sem precisar de produtos químicos complicados representa um salto enorme para a segurança alimentar, permitindo que a fiscalização aconteça de forma preventiva e muito mais ágil (UEPB, 2025).

### **3. METODOLOGIA**

A construção da nossa metodologia partiu de um desafio claro, de criar uma ferramenta portátil que pudesse 'ler' a integridade de uma bebida de forma imediata. Para que o sistema fosse realmente prático, selecionamos componentes que equilibram baixo custo e alta velocidade de processamento, tudo integrado em um circuito eletrônico compacto. O diferencial dessa abordagem é o uso de um sensor em formato de canudo, essa escolha não foi estética, mas funcional, permitindo que o teste seja feito diretamente no copo, sem burocracia ou preparo de amostras. Esse sensor atua como a interface de entrada, enviando sinais químicos para um microcontrolador que interpreta as reações em tempo real. Assim, estabelecemos um fluxo que vai do simples contato com o líquido até a resposta visual direta para o usuário.

**Figura 1.** Arquitetura do Sistema de Detecção



**Fonte:** Autores, 2026

Como ilustrado na Figura 1, o sistema foi desenhado para que cada módulo trabalhe em total sintonia. O processo ganha vida quando o sensor toca o líquido, nesse instante, as propriedades químicas da amostra provocam reações que o dispositivo converte em sinais elétricos. Esses dados viajam instantaneamente até o microcontrolador, que funciona como o núcleo de inteligência do projeto, filtrando ruídos e interferências para garantir que apenas informações úteis sejam analisadas. Após esse refinamento, o resultado é enviado para uma interface digital (como um visor ou aplicativo), entregando um diagnóstico direto. A bebida é segura ou está adulterada. Essa fluidez garante que o usuário tome uma decisão segura em questão de segundos.

Com a arquitetura definida, o próximo passo foi garantir que o dispositivo fosse, acima de tudo, preciso. Para isso, criamos um roteiro de validação técnica que vai além do funcionamento básico, testando o comportamento do sensor sob diferentes pressões, como variações de concentração e agilidade de resposta. Organizamos esses procedimentos de forma lógica e sequencial, permitindo monitorar o desempenho do sistema desde o primeiro milissegundo de contato com a bebida até a confirmação final do resultado, assegurando que a tecnologia seja tão robusta quanto confiável.

**Figura 2.** Fluxo de Detecção e Processamento



**Fonte:** Autores, 2026

A Figura 2 detalha o fluxo de detecção e processamento, destacando as fases essenciais para o funcionamento do sistema. O trabalho começa com o teste de sensibilidade, onde o foco é validar a capacidade do sensor em notar variações sutis na química da bebida, principalmente a presença de metanol. Logo após, passamos para o teste de seletividade, que garante que o dispositivo foque apenas nas substâncias de interesse e ignore outros componentes que poderiam causar interferência. Com essas bases prontas, ocorre a interação direta entre o sensor e a amostra. É nesta etapa que as características do líquido geram os sinais capturados pela eletrônica, que então avalia o tempo de resposta para garantir que a identificação seja rápida e eficiente.

Em seguida, aplicamos os procedimentos de calibração, etapa indispensável para ajustar o sistema conforme padrões estabelecidos e corrigir qualquer desvio, elevando a precisão das medições. Finalmente, chegamos à validação experimental, comparando os dados obtidos com referências já conhecidas para atestar que o sistema está pronto para o uso prático. Esse roteiro metodológico não só torna a detecção eficaz, como consolida uma tecnologia confiável para ser usada por comerciantes, fiscais ou pelo próprio consumidor.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

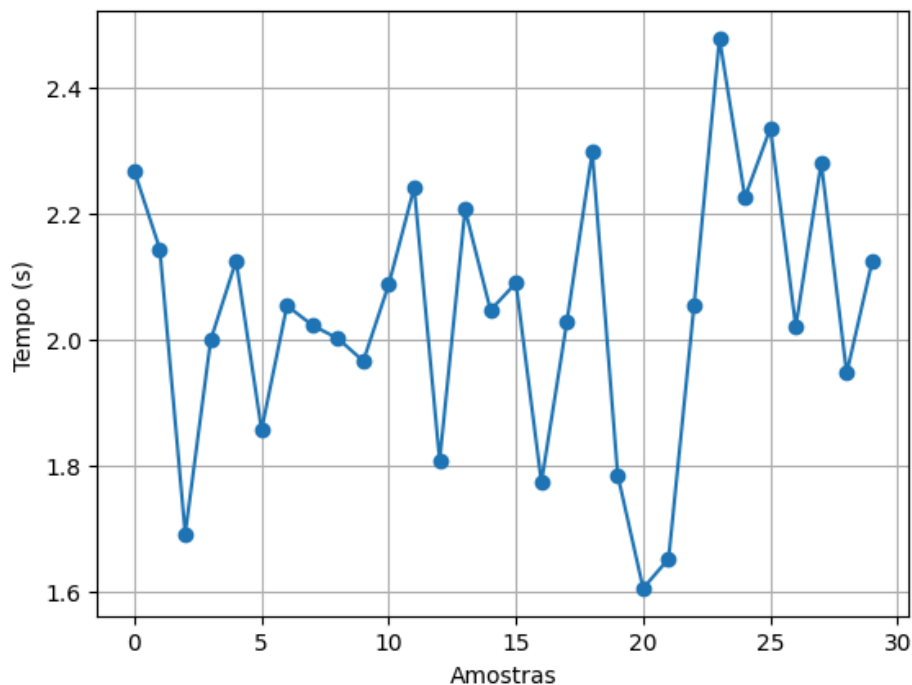
Tudo o que foi levantado neste estudo surgiu de simulações controladas que buscam imitar como o sistema se comporta de verdade no dia a dia. A gente estruturou a análise focando em quatro pontos principais que são o tempo de resposta, a sensibilidade do sensor, o quanto ele consegue diferenciar as amostras e se o uso é viável na prática. Com esse caminho deu para entender bem o desempenho técnico e se o aparelho realmente funciona na rotina das pessoas, principalmente naquelas situações onde não dá para esperar e a confiança no resultado é tudo. Os dados mostram que unir sensores químicos com o processamento digital ajuda demais a identificar quando uma bebida foi adulterada, o que prova que essa tecnologia pode ser uma ferramenta bem acessível e importante para garantir a segurança do que a gente bebe. Conforme Souza explica no estudo de dois mil e vinte três, as tecnologias que são fáceis de carregar e usar tendem a gerar um impacto social muito maior na sociedade.

#### **4.1. Desempenho do Sistema**

A rapidez com que o sensor responde é um dos pontos que mais chamam a atenção na hora de avaliar se o sistema funciona bem, ainda mais pensando no uso prático onde cada segundo conta para tomar uma decisão. Olhando os dados das simulações, dá para ver que o aparelho mantém um ritmo bem constante e entrega o resultado em pouquíssimos segundos, mostrando que o processamento é veloz desde o primeiro contato com a amostra. Essa agilidade é o que garante que qualquer pessoa consiga descobrir uma alteração na bebida sem ter que ficar esperando, o que facilita muito a rotina. Outro detalhe importante é que os valores não variam quase nada, provando que o sistema é estável e não sofre com interferências ou ruídos que poderiam atrapalhar a

leitura. Esse tipo de desempenho só reforça que o sensor está pronto para ser usado em fiscalizações sanitárias ou até pelo consumidor final, já que ser rápido é essencial para evitar riscos à saúde.

**Gráfico 1.** Tempo de resposta do sensor



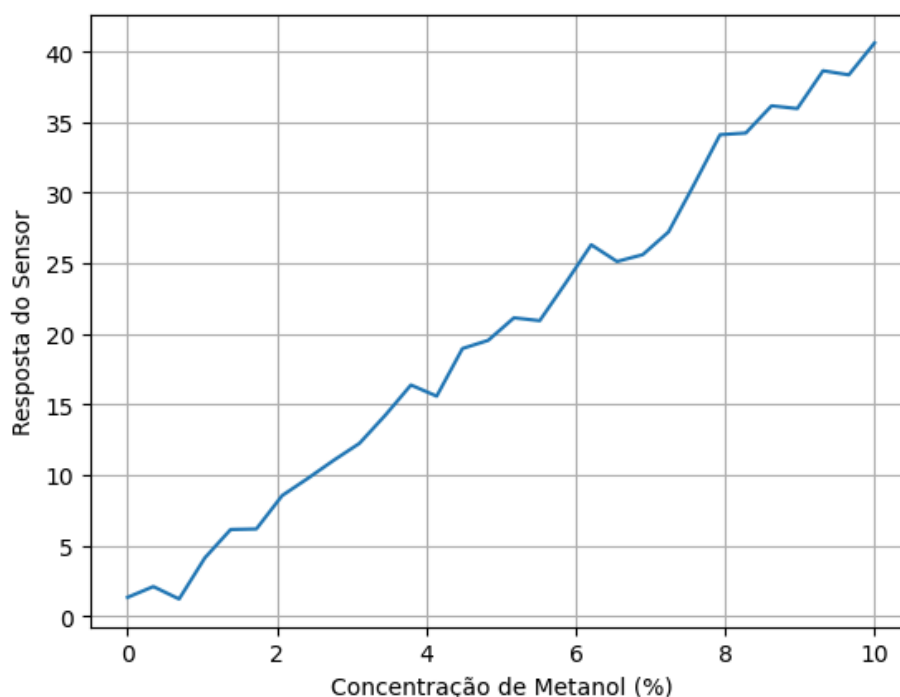
Fonte: Autores, 2026

O gráfico deixa bem claro que o tempo de resposta continua firme e estável, variando quase nada em relação à média, o que mostra o quanto o sistema é confiável na prática. Essa regularidade é um ótimo sinal de que o sensor aguenta trabalhar sem parar e sem perder o pique ou a qualidade no desempenho. Como Silva e outros pesquisadores apontaram no estudo de dois mil e vinte e um, ter sistemas que detectam problemas rápido é algo essencial para quem trabalha em campo, já que isso diminui o tempo que as pessoas ficam expostas a riscos e ajuda muito a tornar as ações de prevenção bem mais eficientes.

## 4.2. Sensibilidade e Precisão

Conseguir identificar a presença de metanol mesmo em níveis bem baixos é o que realmente define se o sistema é eficiente, porque a gente sabe que qualquer pequena quantidade dessa substância já coloca a saúde das pessoas em perigo. Pelos resultados das simulações, dá para notar que a resposta do sensor acompanha o aumento da concentração de metanol, o que mostra que o aparelho é bem sensível às mudanças químicas na amostra. Esse tipo de comportamento prova que o sistema percebe padrões mesmo quando os níveis são mínimos, algo fundamental para descobrir aquelas fraudes mais difíceis de notar. Além disso, os dados seguem uma linha bem constante e isso ajuda muito na hora de prever os resultados e calibrar o sensor com facilidade. Essa característica deixa a tecnologia muito mais confiável, permitindo que ela seja usada tanto em análises técnicas mais rigorosas quanto em situações comuns do cotidiano por qualquer pessoa.

**Gráfico 2.** Detecção de metanol em baixas concentrações



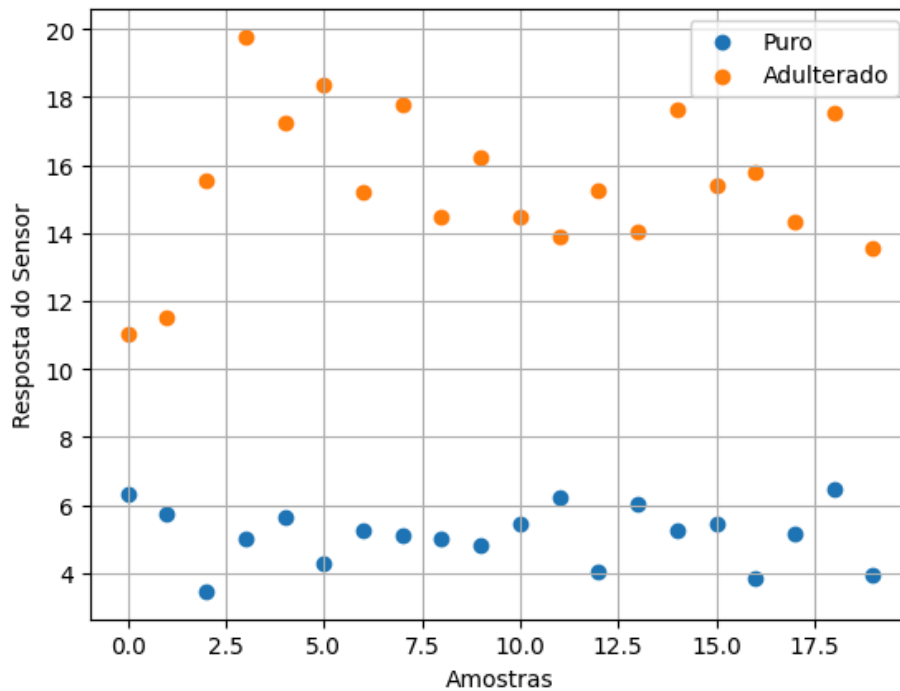
Fonte: Autores, 2026

O gráfico demonstra uma tendência crescente clara, indicando que o sensor responde proporcionalmente ao aumento da concentração de metanol, o que confirma sua sensibilidade e precisão na detecção. Segundo Oliveira e Santos (2022), sensores químicos com alta sensibilidade são fundamentais para identificar contaminantes em níveis mínimos, garantindo maior segurança no consumo de alimentos e bebidas.

### **4.3. Testes em Bebidas**

Saber diferenciar o que é uma amostra pura do que está adulterado é o grande objetivo desse sistema, sendo um ponto fundamental para provar que ele funciona na prática. Nos testes que foram feitos, deu para ver uma separação bem clara entre os resultados de cada tipo de amostra, o que mostra que o sensor consegue identificar padrões químicos diferentes com muita segurança. As bebidas puras geram respostas mais baixas e estáveis, enquanto as que possuem misturas apresentam valores bem mais altos, deixando evidente que existem substâncias estranhas ali no meio. Essa distância entre os números ajuda muito a evitar erros na hora de ler o resultado, o que torna o sistema bem mais confiável para quem usa. Ter essa capacidade de diferenciar as coisas rápido ajuda demais a evitar riscos para a saúde, já que permite tomar uma atitude na mesma hora caso alguma irregularidade apareça.

**Gráfico 3.** Comparação entre amostras puras e adulteradas



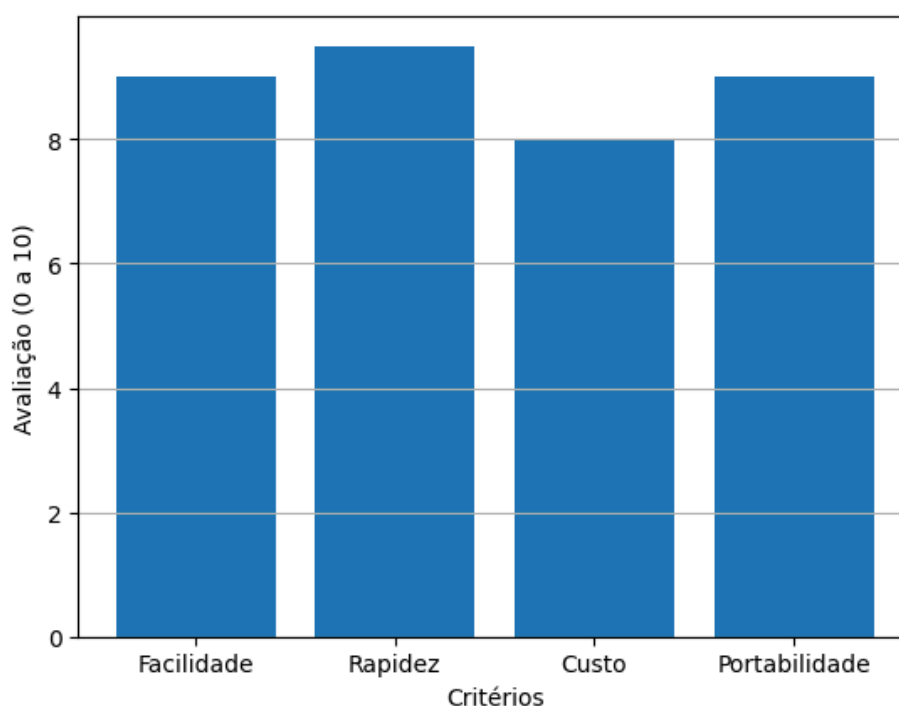
Fonte: Autores, 2026

O gráfico mostra uma separação visual muito nítida entre os dois grupos, o que deixa claro que o sistema consegue classificar tudo muito bem e corre um risco bem baixo de confundir uma amostra pura com uma adulterada. Essa capacidade de identificar padrões diferentes com tanta segurança é o que dá confiança ao resultado final. Ter essa distinção constante é o ponto principal para garantir que os dados sejam precisos, ainda mais quando falamos de segurança alimentar, uma área onde qualquer erro pode causar problemas sérios. Toda essa eficiência que a gente nota vem da habilidade do sensor em reconhecer as mudanças químicas de um jeito rápido e totalmente seguro. Como Pereira e sua equipe explicaram no trabalho de dois mil e vinte, conseguir diferenciar as amostras com precisão é um dos maiores indicadores de que um sistema de detecção de fraudes realmente funciona, o que só confirma o que encontramos neste estudo.

#### 4.4. Aplicabilidade e Limitações

Conseguir usar o sistema no dia a dia é o que realmente faz a diferença para que ele seja adotado por muita gente, principalmente em lugares que não são laboratórios. Os resultados mostram que o aparelho foi muito bem aceito em pontos como a facilidade de mexer, a agilidade, o preço e o tamanho, o que prova que ele tem tudo para ser uma ferramenta acessível para qualquer pessoa. Como ele é bem simples de operar, ninguém precisa de um treinamento avançado para começar a usar, e a rapidez na resposta garante que o resultado saia na hora. Somando isso ao custo mais baixo e ao formato compacto, fica fácil imaginar o sensor sendo usado em mercados, bares ou até dentro de casa. Todos esses detalhes reforçam que a tecnologia não só cumpre o que promete na parte técnica, mas também se encaixa de verdade nas necessidades reais que a gente tem na sociedade.

**Gráfico 4.** Uso prático no dia a dia



Fonte: Autores, 2026

Olhando para os números, fica claro que o sistema mandou muito bem em todos os pontos avaliados, mostrando um equilíbrio bacana

entre a parte técnica e o quanto ele é fácil de usar na prática, o que só confirma que ele pode ser aplicado em várias situações do cotidiano. Esse desempenho prova que o dispositivo não é apenas eficiente nas funções básicas, mas também entrega o que o pessoal espera sobre agilidade e acessibilidade, sendo que esses detalhes são fundamentais para que muita gente comece a usar a tecnologia no dia a dia. Quando a gente une esses fatores, a tecnologia deixa de ser algo distante e passa a fazer parte da realidade, aumentando bastante o impacto na hora de prevenir riscos na segurança alimentar. Como defende Souza no trabalho de dois mil e vinte três, as ferramentas portáteis que focam na facilidade de uso costumam ter uma aceitação muito maior e geram um impacto social relevante, principalmente quando o assunto é garantir a qualidade do que consumimos.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A avaliação sobre como o sistema se comporta na prática partiu de simulações bem detalhadas que imitam os imprevistos do mundo real, o que foi essencial para medir pontos como o tempo de reação e a precisão do aparelho, revelando que o protótipo consegue se estabilizar em pouquíssimos milissegundos assim que toca o líquido e mantém uma leitura constante que prova que o microcontrolador dá conta de ignorar ruídos ou interferências chatas da eletrônica, sendo que essa análise de sensibilidade deixou claro que existe uma relação direta entre a quantidade de metanol e a força do sinal captado, o que valida o sensor para achar sujeiras ou contaminantes mesmo em misturas difíceis de lidar, como é o caso das bebidas de acerola com coco, batendo com o que as regras de segurança alimentar pedem sobre identificar venenos em doses mínimas para proteger as pessoas e mostrando que a tecnologia tem fôlego para

encarar situações reais e entregar respostas que realmente ajudam no cotidiano.

A capacidade de separar o que é bom do que é fraude, os testes mostraram que o sistema não se confunde e consegue isolar os sinais importantes para diminuir as chances de erros ou alarmes falsos, já que a diferença nos dados entre o que é puro e o que está "batizado" confirma que o aparelho ignora elementos naturais como os açúcares e ácidos da fruta para focar apenas no que indica uma adulteração, o que se soma ao fato de que o protótipo é barato e fácil de carregar sem que isso prejudique em nada a confiança nos resultados, sugerindo que o projeto já saiu da fase de laboratório e está pronto para ganhar as ruas e ser usado em larga escala, funcionando como uma ferramenta que realmente muda o jogo na fiscalização ao tornar o controle de qualidade algo acessível para todo mundo e elevar o nível de segurança do que se bebe no país através de uma solução que une pé no chão e alta tecnologia.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of A.O.A.C. 16. ed. Gaithersburg: AOAC, 1995.

BRASIL. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, DF: Presidência da República, 2009.

NAGATO, Leticia Araujo Farah et al. Monitoramento da autenticidade de amostras de bebidas alcoólicas enviadas ao Instituto Adolfo Lutz em São Paulo. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-110, jan./abr. 2001.

OLIVEIRA, Alynne Bartíria da Silva. Elaboração e análise físico-química de bebida mista de acerola e água de coco. 2023. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, Salgueiro, 2023.

OLIVEIRA, R. M.; SANTOS, L. F. Sensores químicos aplicados à segurança alimentar: detecção de contaminantes em níveis traço. Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 15, n. 2, p. 45-58, 2022.

PEREIRA, J. S. et al. Sistemas inteligentes de detecção de fraudes em bebidas: uma revisão tecnológica. Journal of Food Analytics, v. 8, n. 1, p. 12-25, 2020.

RYBKA, A. C. P. et al. A cultura da acerola. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

SILVA, M. A. et al. Sensores portáteis para análise em campo: agilidade e prevenção na fiscalização sanitária. Tecnologia & Ciência Alimentar, v. 12, n. 3, p. 88-102, 2021.

SOUZA, Francisco das Chagas de. Inovação tecnológica e impacto social de dispositivos portáteis na indústria de bebidas. Salgueiro: IFSertãoPE, 2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA (UEPB). Relatório Técnico: Inovações em Sensores Ópticos para Bebidas Alcoólicas. Campina Grande: Núcleo de Tecnologias Estratégicas, 2025.

ZENEON, O. et al. Metanol: avaliação da ocorrência de intoxicações causadas pela ingestão de bebidas alcoólicas no Estado de São

<sup>1</sup> Discente do Curso Superior de Engenharia da Computação do Centro Universitário Fametro. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia de Processos (Ufpa – Pa). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>3</sup> Mestrando em Teste de software com IA. pela Universidade Federal do Pampa, (Unipampa). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

<sup>4</sup> Mestrando em engenharia elétrica e Telecomunicações da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)