



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
LICENCIATURA EM QUÍMICA**

THALYSON FERREIRA MARQUES

**CRIAÇÃO DE CÁPSULAS DE GELATINA COMO ALTERNATIVA PARA
ANÁLISES COLORIMÉTRICAS CLÁSSICAS**

**SERRA TALHADA – PE
06/2026**

THALYSON FERREIRA MARQUES

**CRIAÇÃO DE CÁPSULAS DE GELATINA COMO ALTERNATIVA PARA
ANÁLISES COLORIMÉTRICAS CLÁSSICAS**

Monografia Submetida ao Curso de Licenciatura em Química da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco como Parte dos Requisitos para Obtenção do Diploma de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo da Nóbrega Gaião.

**SERRA TALHADA – PE
06/2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Danilo Trindade Barbosa – CRB-4 002285/O

M357c Marques, Thalyson Ferreira.
Criação de cápsulas de gelatina como alternativa para análises colorimétricas clássicas / Thalyson Ferreira Marques. – Serra Talhada, 2026.
30 f.; il.

Orientador(a): Edvaldo da Nóbrega Gaião.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST, Licenciatura em Química, Serra Talhada, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Química analítica qualitativa . 2. Testes químicos e reagentes. 3. Materiais - Testes. 4. Colorimetria I. Gaião, Edvaldo da Nóbrega, orient. II. Título

CDD 540

THALYSON FERREIRA MARQUES

**CRIAÇÃO DE CÁPSULAS DE GELATINA COMO ALTERNATIVA PARA
ANÁLISES COLORIMÉTRICAS CLÁSSICAS**

Monografia Submetida ao Curso de
Licenciatura em Química da Unidade
Acadêmica de Serra Talhada da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco como Parte dos Requisitos
para Obtenção do Diploma de Licenciado
em Química.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo da Nóbrega
Gaião.

Aprovado em: 07 de Julho de 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edvaldo da Nóbrega Gaião (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prf. Dr. Marcelo Batista de Lima (Examinador interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prf. Dr. Pedro Lemos de Almeida Júnior (Examinador interno)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho representa a concretização de uma etapa significativa da minha trajetória acadêmica, e isso só foi possível graças ao apoio, incentivo e dedicação de muitas pessoas, às quais expresso minha mais sincera gratidão.

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Prof. Edvaldo da Nóbrega Gaião, por sua inestimável orientação, paciência e dedicação ao longo de todo o desenvolvimento deste estudo. Sua experiência, conhecimento e comprometimento foram fundamentais para a condução deste trabalho, proporcionando não apenas a base científica necessária, mas também o incentivo e a confiança para superar os desafios encontrados durante a pesquisa.

Expresso também minha gratidão ao Grupo de Instrumentação e Análises Químicas (GIAQ), pelo suporte técnico e acadêmico, bem como pelo ambiente de troca de conhecimento e crescimento intelectual proporcionado. A colaboração e o compartilhamento de experiências dentro do grupo foram essenciais para o aprimoramento deste estudo e para meu desenvolvimento como pesquisador.

À minha família como um todo, especialmente à minha irmã pelo apoio emocional e material, me emprestando seu computador para que pudesse escrever parte da pesquisa, também a meus pais minha eterna gratidão pelo amor incondicional, pelo apoio irrestrito e pelos valores que me transmitiram, os quais foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Sem suas palavras de incentivo e confiança, este caminho teria sido muito mais árduo.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um método inovador para análise química qualitativa por meio do encapsulamento de reagentes analíticos em cápsulas de gelatina. Os métodos clássicos de química por via úmida, embora eficazes, possuem limitações relacionadas à dependência de infraestrutura laboratorial e baixa portabilidade. Para superar essas restrições, a gelatina foi utilizada como meio encapsulante de baixo custo e estável, permitindo a criação de cápsulas sólidas portáteis contendo reagentes colorimétricos. A metodologia envolveu a preparação de cápsulas com os reagentes ferrocianeto de potássio, iodeto de potássio, fenolftaleína e nitrato de prata, utilizando moldes improvisados com papel-alumínio e confeccionados por impressão 3D. As cápsulas foram testadas em soluções sintéticas de íons metálicos em sistemas ácido-base. Os resultados demonstraram reações rápidas e colorações características, confirmando a eficácia das cápsulas como ferramentas analíticas qualitativas. Testes de estabilidade mostraram que cápsulas armazenadas sob refrigeração mantiveram maior reatividade, enquanto as cápsulas de nitrato de prata apresentaram menor durabilidade devido à redução. Os achados evidenciam a praticidade, portabilidade e segurança das cápsulas em comparação aos métodos convencionais por via úmida, sem comprometer a eficiência analítica. Essa abordagem amplia a aplicabilidade dos spot tests em trabalhos de campo, contextos educacionais e ambientes sem infraestrutura laboratorial, oferecendo uma alternativa promissora para a detecção qualitativa de espécies químicas.

Palavras-chave: Análise qualitativa; Encapsulamento de reagentes; Materiais alternativos.

ABSTRACT

This research presents the development of an innovative method for qualitative chemical analysis through the encapsulation of analytical reagents in gelatin capsules. Classical wet chemistry methods, although effective, are limited by their dependence on laboratory infrastructure and low portability. To overcome these restrictions, gelatin was employed as a low-cost and stable encapsulating medium, enabling the creation of portable solid capsules containing colorimetric reagents. The methodology involved the preparation of capsules with reagents such as potassium ferrocyanide, potassium iodide, phenolphthalein, and silver nitrate, using improvised molds made with aluminum foil and fabricated by 3D printing. The capsules were tested in synthetic solutions of metallic ions and acid-base systems. The results demonstrated rapid reactions and characteristic color changes, confirming the effectiveness of the capsules as qualitative analytical tools. Stability tests showed that capsules stored under refrigeration maintained higher reactivity, whereas silver nitrate capsules exhibited reduced durability due to reduction. The findings highlight the practicality, portability, and safety of gelatin capsules compared to conventional wet methods, without compromising analytical efficiency. This approach broadens the applicability of spot tests in fieldwork, educational contexts, and environments lacking laboratory infrastructure, offering a promising alternative for the qualitative detection of chemical species.

Key-words: Qualitative analysis; Reagent encapsulation; Alternative materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Moldes de papel-alumínio.....	15
Figura 2 – Blister de medicamento.....	16
Figura 3 – Protótipo das formas de cápsula no Blender.....	16
Figura 4 – Testes das cápsulas de ferrocianeto de potássio Estrutura da fenolftaleína em meio básico e ácido.....	19
Figura 5 – Estrutura da fenolftaleína em meio básico e ácido.....	19
Figura 6 – Reações das cápsulas de fenolftaleína em solução básica (A) e ácida (B).....	20
Figura 7 – Reação da cápsula de iodeto de potássio com acetato de chumbo.....	20
Figura 8 – Reação da cápsula de nitrato de prata com cloreto de potássio e ácido clorídrico, respectivamente.....	21
Figura 9 – Reação do reagente ferrocianeto de potássio encapsulado com o medicamento	21
Figura 10 – Ferrocianeto de potássio encapsulado 5 dias após a sua produção.....	22
Figura 11 – Ferrocianeto de potássio encapsulado 3 meses após a sua produção.....	22
Figura 12 – Comparação do reagente encapsulado de ferrocianeto com (a direita) e sem (a esquerda) refrigeração, depois de 3 meses.....	23
Figura 13 – Reação de ambas as cápsulas envelhecidas de ferrocianeto de potássio (os dois a esquerda, envelhecidos fora da geladeira, os dois a direita, na geladeira).....	23
Figura 14 – Nitrato de prata encapsulado depois de 7 dias da produção.....	24
Figura 15 – Comparação entre cápsula (a esquerda) e solução (a direita) de ferrocianeto de potássio para a detecção do íon ferro III.....	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVOS	10
1.1.1. Objetivo Geral.....	10
1.1.1. Objetivos Específicos	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1. QUÍMICA ANALÍTICA.....	10
2.2. SPOT TESTS.....	11
3. METODOLOGIA	13
3.1. MATERIAIS E REAGENTES	13
3.2. PROCEDIMENTOS	14
3.2.1. Produção Da Cápsula De Ferrocianeto.....	14
3.2.2. Produção Da Cápsula De Fenolftaleína.....	15
3.2.3. Produção Da Cápsula De Iodeto.....	16
3.2.4. Produção Da Cápsula De Nitrato.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5. CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

A utilização de métodos de análise qualitativa por via úmida é amplamente difundida em todos os ramos da química, em especial na química analítica qualitativa. Na análise qualitativa por via úmida, são utilizadas soluções contendo diferentes reagentes, que reagem com um analito, produzindo, em sua maioria, um produto sólido e/ou colorido, por meio do qual é possível identificar a substância de interesse presente na amostra.

Embora seja muito difundida e amplamente utilizada em laboratórios, a aplicabilidade desse método é muito limitada ao ambiente laboratorial, visto que requer a utilização de diversas vidrarias e substâncias de difícil transportabilidade, geralmente líquidos e soluções.

Trabalhos como os de Yuan et al. (2008) e Lin et al. (2023) buscam métodos para facilitar o transporte dessas análises para pesquisas de campo e para longe do laboratório, seja por meio da produção de kits de análise portáteis para a identificação de ferro (Yuan et al.) ou da criação de papel indicador, como para a determinação de níveis de glicose salivar (Lin et al.).

Assim como Yuan et al., a seguinte pesquisa busca elaborar um sistema de análise que pode ser facilmente transportado de um ponto a outro, com baixo custo de produção, de fácil utilização e apresentando resultados significativos (dados que demonstrem que o método pode ser utilizado de forma prática) quando comparado com o método clássico da análise por via úmida.

O caminho escolhido foi a produção de cápsulas à base de gelatina comercial, visto seu baixo custo e sua relativa estabilidade. Até o início da pesquisa, não foram encontrados trabalhos utilizando a gelatina com esse intuito, abrindo assim um leque de possibilidades com relação à aplicabilidade dos ensaios analíticos qualitativos.

Para a produção, foram escolhidos reagentes analíticos dos grupos dos cátions e também reagentes colorimétricos para a identificação de acidez e basicidade. Na produção foram utilizados blisters de medicamentos como recipiente para o envase das cápsulas, bem como tubos confeccionados à base de papel-alumínio e, por fim, utilizando um molde especialmente desenvolvido e construído por meio de impressora 3D para a confecção das cápsulas.

Para testar a eficácia das cápsulas desenvolvidas, elas serão postas em contato com soluções de analitos metálicos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Produzir, com o uso de gelatina comercial, cápsulas sólidas que permitam a identificação de compostos ou elementos químicos em diversos meios.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Testar a eficácia da gelatina como um meio encapsulante de reagentes colorimétricos para identificação de espécies químicas em solução.
- Testar a eficácia da gelatina como reagente encapsulante para indicadores ácido base;
- Avaliar a durabilidade das cápsulas feitas com diferentes reagentes;
- Criar uma estrutura de envasamento e armazenamento eficaz e segura para as cápsulas, utilizando a tecnologia da impressão 3D;
- Testar em laboratório a eficácia das cápsulas de reagentes em situações reais e didáticas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. QUÍMICA ANALÍTICA

A química analítica qualitativa, segundo Alvim e Andrade (2006), vem se provando uma disciplina de grande relevância nos cursos de ensino superior na química e áreas afins, sejam cursos de bacharelados, licenciaturas, engenharias e outros. Vários métodos e reações empregados nas práticas laboratoriais de química analítica são bastante utilizados e empregados nos mais diversos laboratórios de ensino, pesquisa e/ou controle de qualidade. Como exemplo, podem ser citados os ensaios preliminares qualitativos, que são rotineiramente aplicados no controle e fiscalização de entorpecentes ou bebidas.

A análise qualitativa é o ramo da química analítica que se dedica a identificar os constituintes de uma amostra ou a forma como certo constituinte se apresenta. De forma geral, os procedimentos utilizados para a identificação de uma espécie química consistem

em provocar, nessa espécie, uma variação em uma ou mais de suas propriedades, que permita ser facilmente observada. O agente que provoca tal variação chama-se reagente, pois geralmente reage quimicamente com o constituinte que se deseja reconhecer. O reagente, apesar de poder ser um agente físico, como calor, eletricidade ou luz, é comumente entendido como um produto químico. Mais frequentemente em solução, esta substância é empregada para reagir quimicamente com o composto ou elemento em análise (VAITSMAN, 1995).

2.2. SPOT TESTS

Muitos ensaios analíticos empregam reações rápidas e simples, capazes de identificar a espécie de interesse por meio da formação de produtos característicos, sejam eles colorações, precipitados ou mudanças detectáveis em solução. Procedimentos como esses são comumente identificados como spot tests, um método analítico essencialmente qualitativo. De acordo com Jungreis (1985), os spot tests constituem uma técnica que permite a realização de análises em escalas semimicro e ultramicro, utilizando equipamentos simples e em tempo reduzido. Em termos gerais, tratam-se de procedimentos que operam na faixa de microgramas ou menos, possibilitando a identificação de substâncias ou de famílias de compostos químicos (DOMÉNÉCH-CARBÓ; DOMÉNÉCH-CARBÓ, 2022).

Análises desse tipo são amplamente empregadas em diversas áreas, incluindo a saúde, em que podem ser utilizadas para a identificação rápida de drogas em pacientes com suspeita de overdose (HACKETT; DUSCI, 1977). No contexto forense, spot tests desempenham papel relevante na triagem de possíveis substâncias ilícitas. Por exemplo, o canabidiol, quando tratado com solução etanólica de NaOH 5%, desenvolve coloração vermelho-violácea; já a cocaína e o crack, em contato com uma solução de beta-naftol e hidróxido de sódio, produzem uma coloração azul intensa, característica da reação.

Além disso, spot tests também são aplicados na identificação de fluidos corporais. A saliva, por exemplo, pode ser detectada quando a amostra é tratada com ácido acético diluído e solução de cloreto férrico a 10%, resultando na formação de uma coloração vermelha atribuída ao complexo $\text{Fe}(\text{CNS})_3$ (FARIAS, 2007).

Na química analítica qualitativa, é comum o uso de reagentes específicos para a identificação de substâncias ou elementos químicos. Usando como exemplo, uma

amostra solúvel de chumbo, a qual pode ser identificada quando adicionada a uma solução de amônia, o que resultará na formação de um precipitado branco de hidróxido de chumbo (VOGEL, 1981). O mesmo reagente, no entanto, pode ser utilizado para a identificação de cádmio. Quando adicionada a amônia gota a gota, é formado um precipitado branco de hidróxido de cádmio.

A distinção entre os dois elementos pode ser feita pelo uso de um outro reagente analítico. Ao trocar o reagente amônia por iodeto de potássio, por exemplo, resultará em análises distintas; ao reagir com o chumbo, seria formado um precipitado amarelo de iodeto de chumbo, ao passo que, com o cádmio, não formaria precipitado algum, o que torna possível distinguir reativamente os dois metais (VOGEL, 1981).

Obras como Química Analítica Qualitativa de Vogel (1981) sumarizam e catalogam diversas dessas reações. Nessa obra, o autor categoriza os metais em grupos, de acordo com seus reagentes, dividindo-os em um total de cinco grupos.

Nesse trabalho, é apresentada a gelatina comercial como meio encapsulante para reagentes colorimétricos. A gelatina é uma substância obtida a partir do colágeno presente, por exemplo, em ossos e pele de animais. Ela apresenta características únicas de solubilidade e textura, o que a torna muito utilizada nas indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentícias. Quimicamente, a gelatina é uma mistura de proteínas de grande peso molecular, sendo estruturada por uma sequência complexa de aminoácidos, sendo a glicina, prolina e hidroxiprolina os mais predominantes. Ao ser aquecida em meio aquoso, a gelatina se dissolve, formando uma solução viscosa, que se solidifica ao resfriar, formando um gel, que pode ser reaquecido e voltar à forma líquida, conferindo à gelatina essa propriedade única de gel termorreversível (MATERIAL PROPERTIES, s.d.).

Um dos conceitos que foi pesquisado junto à parte experimental foi a tecnologia da impressão 3D. A impressão 3D é uma tecnologia que, ao longo das últimas décadas, vem revolucionando a indústria justamente pela rápida prototipagem, já que antes, para obter um protótipo, era necessário modelar peças manualmente e somente depois produzir uma matriz de produção (MORANDINI, DEL VECHIO; 2020).

O uso da impressora 3D é crucial para uma das etapas dessa pesquisa. Com ela, foi elaborada uma forma para o encapsulamento mais prático dos reagentes. Mais informações sobre a estruturação da forma, sua fabricação e aplicação serão apresentadas no item 3.2.

Apesar da ampla utilização de spot tests em diferentes contextos analíticos, não foram encontrados, na referente pesquisa, trabalhos dedicados ao desenvolvimento de formatos alternativos para esses reagentes, especialmente no que diz respeito à sua solidificação ou encapsulamento. Muitos dos trabalhos encontrados, concentram-se nas análises clássicas por via úmida, enquanto propostas que visem aumentar a praticidade, a portabilidade ou a segurança no manuseio dos reagentes ainda são pouco exploradas. Essa ausência de estudos voltados à incorporação de reagentes colorimétricos em cápsulas, como as de gelatina, evidencia uma lacuna relevante no campo da química analítica qualitativa, justificando a necessidade de novas abordagens que ampliem a aplicabilidade e a versatilidade desses testes.

O problema central abordado nesta pesquisa é a limitada praticidade e baixa transportabilidade dos reagentes por via úmida tradicionalmente empregados na identificação de cátions metálicos em soluções ou em amostras sólidas. Como alternativa, propõe-se o desenvolvimento de cápsulas à base de gelatina comercial, incorporando diferentes reagentes colorimétricos capazes de realizar a detecção qualitativa de cátions por meio do princípio dos spot tests, bem como a indicação de acidez ou basicidade do meio. A utilização dessas cápsulas em substituição aos reagentes líquidos convencionais oferece vantagens significativas, como maior rapidez analítica, uma vez que o reagente já se encontra previamente acondicionado; maior praticidade, visto que basta a adição de uma única cápsula à amostra; e superior transportabilidade, permitindo a execução de análises em diferentes ambientes sem a necessidade de equipamentos adicionais.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS E REAGENTES

- Equipamentos;
 - Chapa de aquecimento;
 - Geladeira;
 - Balança analítica;
 - Impressora 3D;
- Vidrarias/materiais;
 - Papel alumínio;

- Béquer;
- Blister de medicamento;
- Pipeta volumétrica (10 mL);
- Bastão de vidro;
- Reagentes
 - Gelatina em pó;
 - Água destilada;
 - Ferrocianeto de potássio;
 - Iodeto de potássio;
 - Fenolftaleína
 - Nitrato de prata;
 - Dexfer (ferripolimaltose, medicamento);

3.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para criação das amostras, foram utilizadas como base as proporções indicadas para a produção de gelatina convencional, tendo como objetivo manter a proporção ideal para que a gelatina mantivesse um estado mais consistente. Segundo as proporções indicadas na embalagem da gelatina comercial, seriam necessárias 12 gramas de gelatina para produzir aproximadamente 50 mL do produto final.

Neste trabalho, a quantidade de solução de gelatina foi reduzida para 10 mL, utilizando então, nesta solução, aproximadamente 2,4 g de gelatina em pó, mantendo a proporção água/gelatina recomendada. Essa quantidade será mantida durante todos os processos a seguir.

O texto seguinte será dividido em etapas, tendo em vista os diferentes reagentes colorimétricos utilizados para a produção das cápsulas.

3.2.1. Produção da cápsula de ferrocianeto.

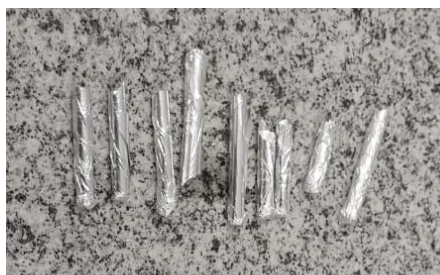
Utilizando a quantidade indicada de gelatina para a produção de 10 mL da solução, foi inicialmente preparada uma solução com água e a gelatina em pó. Para esta solução, foram adicionados, em um béquer, 10 mL de água destilada; em seguida, foram adicionados 2,4019 g de gelatina em pó, pesados em balança analítica. Juntamente à gelatina, foram pesados e adicionados à solução 6,4060 g de ferrocianeto de potássio,

uma quantidade que, posteriormente, notou-se que havia sido calculado errado. Após essa etapa, a mistura foi manualmente solubilizada utilizando bastão de vidro.

A solução foi posta em aquecimento em uma chapa aquecedora com cerca de 80 °C até a completa dissolução dos reagentes. Durante o aquecimento, a substância era agitada manualmente. O tempo de aquecimento foi de, aproximadamente, 10 minutos, enquanto o tempo de resfriamento inicial foi de 30 minutos.

Os primeiros testes para a produção das cápsulas foram feitos utilizando como recipiente canudos confeccionados com papel-alumínio, como indicado na figura 1:

Figura 1 – Moldes de papel-alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A solução de gelatina foi posta nos tubos para resfriar, sendo colocada na geladeira ainda quente. As cápsulas foram identificadas em grupo, mantidas em refrigeração e testadas para sua eficácia cinco dias depois.

3.2.2. Produção da cápsula de fenolftaleína.

Após a produção das cápsulas de ferrocianeto, buscou-se produzir amostras de cápsulas para a determinação da acidez ou basicidade do meio. Para tal, escolheu-se a fenolftaleína como reagente indicador ácido-base.

Para a produção das cápsulas indicadoras de acidez e basicidade, foram utilizadas 10 mL de água destilada, 2,4216 g de gelatina em pó (proporção calculada anteriormente) e aproximadamente 0,5 g de fenolftaleína.

O processo de produção foi o mesmo, seguindo a mesma ordem de mistura e tempos de preparo semelhantes aos das cápsulas de ferrocianeto. Com o produto finalizado, para o envasamento da amostra, foram utilizados novamente os canudos de papel-alumínio, mas, dessa vez, juntamente a eles, parte da gelatina foi envasada em um blister de medicamento, como mostrado na figura 2:

Figura 2 – Blister de medicamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As cápsulas de fenolftaleína foram testadas duas vezes: uma no mesmo dia do preparo e a outra, cerca de 5 dias após a produção.

3.2.3. Produção da cápsula de iodeto.

Para a produção das cápsulas de iodeto, novamente a proporção água/gelatina foi mantida (10 mL e 2,4345 g, respectivamente), e foram agregados 0,1044 g de iodeto de potássio.

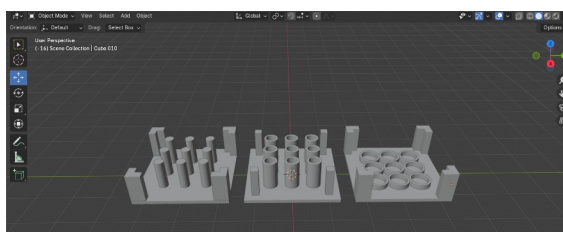
A produção, mais uma vez, seguiu de forma semelhante às anteriores, embora as cápsulas de iodeto aparentem ter demorado mais que as outras cápsulas para se solidificarem.

3.2.4. Produção da cápsula de nitrato.

As cápsulas de nitrato de prata foram produzidas utilizando 10 mL de água, aproximadamente 2,5 gramas de gelatina em pó e 0,1025 gramas de nitrato de prata.

Com o intuito de melhorar o processo de criação das cápsulas dos reagentes indicadores colorimétricos utilizando papel-alumínio e blisters de medicamento, foram projetados e desenvolvidos novos meios de envase, agora utilizando moldes confeccionados com impressora 3D. A forma de envase das cápsulas foi modelada no programa Blender, cujo formato e protótipo impresso podem ser vistos na figura 3:

Figura 3 – Protótipo das formas de cápsula no Blender.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A impressora 3D utilizada se tratava de uma Creality Hi, e o molde foi impresso com filamentos de PLA.

Após a confecção das cápsulas citadas acima, foram realizados uma série de testes para verificar o comportamento dos reagentes analíticos encapsulados na gelatina comercial, com relação à sua capacidade reacional, velocidade de reação e estabilidade com relação ao tempo e condições de temperatura.

Para avaliar a eficácia das cápsulas produzidas, foram produzidas soluções qualitativas utilizando reagentes sintéticos de ferro, cobre, chumbo, mercúrio, cádmio, cloro, hidróxido de sódio e ácido clorídrico.

O primeiro teste realizado no trabalho foi de reação do analito com reagente encapsulado, verificando a formação de composto colorido e velocidade de reação. Para tal, cápsulas de ferrocianeto de potássio foram submetidas a uma análise preliminar para detectar a presença de ferro em solução sintética e verificar se a gelatina impedia ou alterava a reação do reagente colorimétrico com os íons metálicos em solução. Nesta análise foi constatado que a cápsula de gelatina com reagente encapsulado funcionou, produzindo composto colorido e de forma rápida. Após o primeiro ensaio, foram realizadas análises envolvendo soluções sintéticas produzidas com os analitos ferro III, ferro II, cobre, cobalto, prata e zinco. Os testes foram também realizados com cápsulas contendo o reagente iodeto de potássio, detectando a presença de íons chumbo em solução, bem como cápsulas de nitrato de prata em soluções de ácido clorídrico diluído e cloreto de potássio. Ensaio foram também realizados com as cápsulas confeccionadas com reagente colorimétrico indicador ácido-base fenolftaleína. Neste teste, cápsulas contendo o reagente foram postas em soluções amostras de hidróxido de sódio e ácido clorídrico.

Teste da cápsula produzida com reagente ferrocianeto de potássio também foram feitos para comprovar a presença de ferro em amostra de medicamento à base desse elemento, utilizado para tratar problemas de anemia. Dexfer é um medicamento recomendado para anemias, síndromes ferropênicas latentes e moderadas. O medicamento contém o princípio ativo da ferripolimaltose (EUROFARMA, 2017). A ferripolimaltose apresenta o íon ferro (III) em sua composição, o que a torna suscetível à identificação pelas cápsulas de ferrocianeto de potássio que, como será evidenciado na imagem 4, apresentam coloração azul-claro na presença desse íon. Para comprovar a presença do ferro nesse medicamento, foram feitas novas cápsulas de ferrocianeto de

potássio, com uma concentração menor do que as produzidas em primeiro momento, cerca de 0,1 grama por litro, em comparação com os mais de 6 gramas por litro da primeira produção, e elas foram postas em contato com o medicamento.

Além dos ensaios descritos acima, foram realizadas análises de estabilidade das cápsulas ao longo de um período aproximado de três meses. Para este teste, algumas cápsulas produzidas foram mantidas em condições de resfriamento em geladeira e outras foram mantidas em condições ambientes. As cápsulas foram postas em contato com os seus respectivos analitos para verificação ou não da reação colorimétrica após o período de três meses da produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como principal resultado, podemos citar o sucesso na criação de cápsulas capazes de utilização como reagente colorimétrico para identificação de íons ou acidez e basicidade de soluções. Uma das análises feitas foi a do tempo de resposta do analito na presença da cápsula reagente, para tal, foi observada uma reação colorimétrica quase instantânea para todas as cápsulas produzidas, comparável aos métodos clássicos, atestando sua funcionalidade como reagente. Os testes das cápsulas contendo ferrocianeto de potássio apresentaram como resultado as cores esperadas para os devidos íons, como pode ser visto na Figura 4, sendo as amostras, respectivamente, os íons ferro (II), ferro (III), cobre, cobalto, prata e zinco, com as cores de reação azul-escuro, azul-claro, vermelho tijolo, verde esbranquiçado, branco e branco, todas reagindo conforme literatura Vogel (1981) segundo as reações.

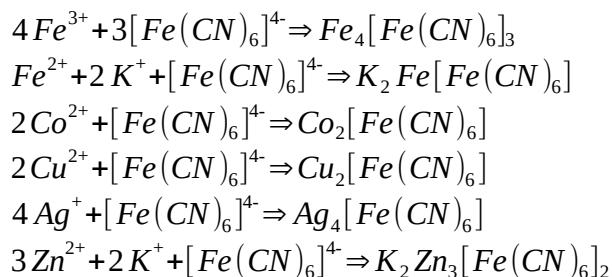
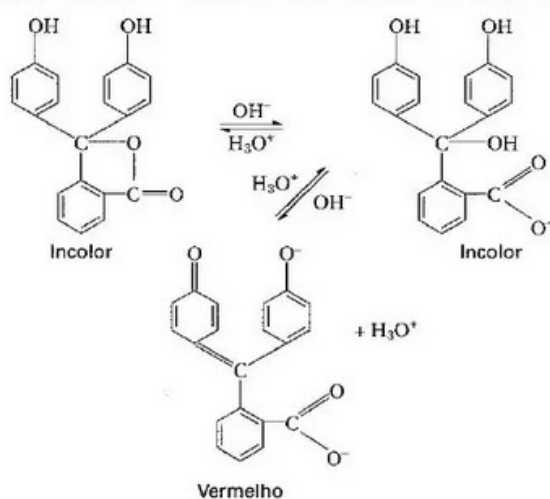


Figura 4 – Testes das cápsulas de ferrocianeto de potássio.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A análise de acidez e basicidade de solução foi realizada utilizando as cápsulas contendo o reagente fenolftaleína, um reagente colorimétrico indicador de pH. De acordo com o banco de dados PubChem (2004), a fenolftaleína é um reagente que apresenta coloração rosa em meio básico, enquanto permanece incolor em meios ácido e neutro, conforme imagem mostrada na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura da fenolftaleína em meio básico e ácido.

Fonte: Baccan et al.; química analítica quantitativa elementar (2001).

Para essa avaliação, foram realizados dois ensaios, colocando as cápsulas em uma solução básica de hidróxido de sódio (NaOH) e também em uma solução ácida de ácido clorídrico (HCl). Os resultados observados no experimento confirmam o comportamento colorimétrico esperado para a fenolftaleína, conforme ilustrado na Figura 6, que apresentam as reações da cápsula presente no meio básico e ácido.

Figura 6 – Reações das cápsulas de fenolftaleína em solução básica (A) e ácida (B).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O resultado obtido com a utilização das cápsulas contendo o reagente iodeto de potássio para a identificação da presença de chumbo em solução foi atestado por meio da reação delas, utilizando como reagente analito o acetato de chumbo. Segundo Vogel (1981), a reação esperada para a mistura desses dois reagentes é um precipitado branco turvado, segundo a reação $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2$. Essa coloração pode ser atestada na cápsula por observação da Figura 8 apresentada a seguir.

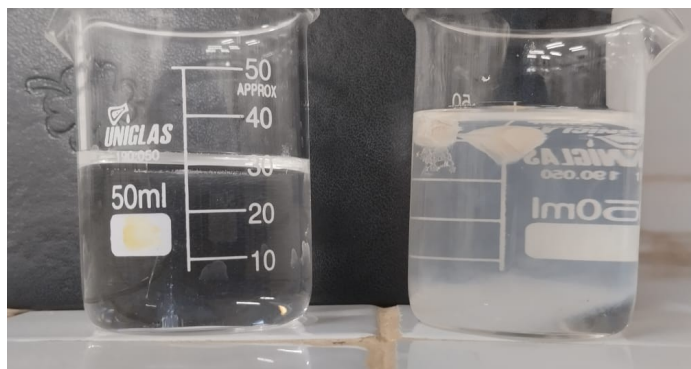
Figura 7 – Reação da cápsula de iodeto de potássio com acetato de chumbo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para as cápsulas contendo nitrato de prata, foram realizados dois ensaios: um com ácido clorídrico e outro com cloreto de potássio. De acordo com Vogel (1981), em ambas as reações ocorre a formação de um precipitado branco de cloreto de prata (AgCl), devido à presença de íons cloreto (Cl^-) nos reagentes utilizados. Entretanto, durante os experimentos, foi possível observar de forma discreta a formação do precipitado esperado. Esse resultado pode estar relacionado à redução da prata nas cápsulas contendo nitrato de prata, o que pode ter comprometido a disponibilidade dos íons prata (Ag^+) necessários para a reação. A ausência de uma precipitação bem definida pode ser observada na Figura 9.

Figura 8 – Reação da cápsula de nitrato de prata com ácido clorídrico e cloreto de potássio, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Por fim, podemos mostrar como resultado a utilização das cápsulas com ferrocianeto de potássio para identificação dos íons ferro II no medicamento Dexfer. Análises diferentes das encontradas apenas em laboratório foram feitas em uma análise utilizando um medicamento que continha um composto que pode ser identificado por uma das cápsulas produzidas. Como mencionado anteriormente, Dexfer é um medicamento com a presença de íons ferro, apresentados no princípio ativo da ferripolimaltose, molécula constituída pelos íons ferro (III), o que faz com que seja possível identificar esse composto através das cápsulas de ferrocianeto de potássio, que apresentará a coloração azul-claro na presença desse íon, como já evidenciado na figura 4. (EUROFARMA, 2017).

Devido à baixa concentração do ferrocianeto nas cápsulas, foi notada uma demora de cerca de 3 minutos, em relação às outras medidas realizadas para o mesmo analito. Mesmo com diferença no comportamento, foi possível atestar a presença do ferro no medicamento por meio da formação de pequenas partículas azuis ao redor da cápsula, como pode ser evidenciado na figura 10 a seguir, onde a cápsula apresenta deformações devido a problemas envolvendo o molde elaborado em impressão 3D.

Figura 9 – Reação do reagente ferrocianeto de potássio encapsulado com o medicamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O teste de estabilidade com relação ao tempo foi realizado com cápsulas de ferrocianeto de potássio, nas quais uma parte foi mantida em refrigeração na geladeira do laboratório e outra foi removida do laboratório e ficou exposta à temperatura ambiente. Ambas foram expostas a um período de aproximadamente três meses. A cápsula que foi mantida fora da geladeira foi observada com mais atenção, ela passou os três meses guardada em um ambiente sem luz ou ventilação. Rapidamente, no decorrer da primeira semana após a produção, ela aparentou ressecar e endurecer, como mostrado na imagem a seguir, cerca de 5 dias após a produção:

Figura 10 – Ferrocianeto de potássio encapsulado 5 dias após a sua produção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No entanto, essa foi a única alteração visível durante todo o período de espera; a cápsula conservou esse formato durante o tempo restante, mudando muito pouco no decorrer do período sobressalente.

Figura 11 – Ferrocianeto de potássio encapsulado 3 meses após a sua produção.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A cápsula que foi mantida sob refrigeração apresentou menos mudanças, mantendo sua consistência gelatinosa, embora tenha perdido um pouco de sua coloração amarela inicial.

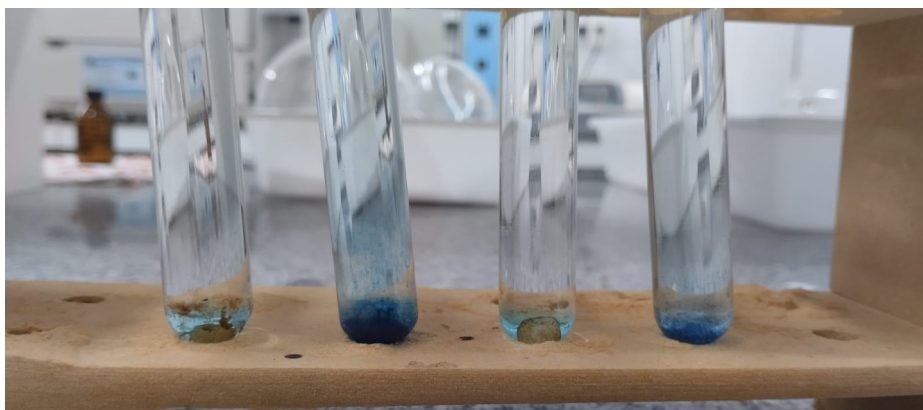
Figura 12 – Comparação do reagente encapsulado de ferrocianeto com (a direita) e sem (a esquerda) refrigeração, depois de 3 meses.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As cápsulas conservadas dos dois modos foram postas após período de 3 meses em contato com soluções de sulfato de cobre e ferro (II), visto que suas reações já haviam sido documentadas antes neste mesmo trabalho. O resultado da reação obtida pode ser verificado observando a Figura 14.

Figura 13 – Reação de ambas as cápsulas envelhecidas de ferrocianeto de potássio (os dois a esquerda, envelhecidos fora da geladeira, os dois a direita, na geladeira).

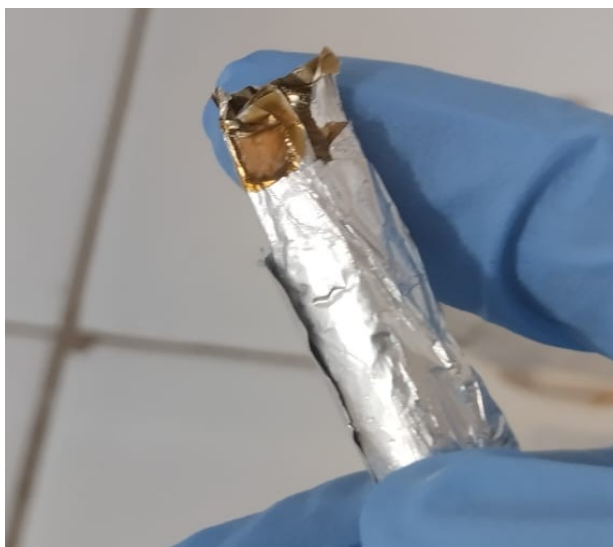


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Como é possível notar, as cápsulas apresentaram reatividade reduzida após o período de 3 meses, mas ainda aparentam ser funcionais. A durabilidade em relação à estabilidade reacional de cada cápsula é diferente. No caso das cápsulas feitas com nitrato de prata, sua durabilidade é de poucos dias. Este fato se deve à alta velocidade de

redução desse reagente em específico na presença de luz. Este fato pode ser atestado observando a figura 15. Cerca de uma semana depois de prontas, mesmo em refrigeração, as cápsulas já apresentavam altos sinais de redução. Dessa forma, recomenda-se que a produção de cápsula deste reagente seja feita com a maior brevidade de sua utilização para garantir a melhor reatividade com analito.

Figura 14 – Nitrato de prata encapsulado depois de 7 dias da produção.

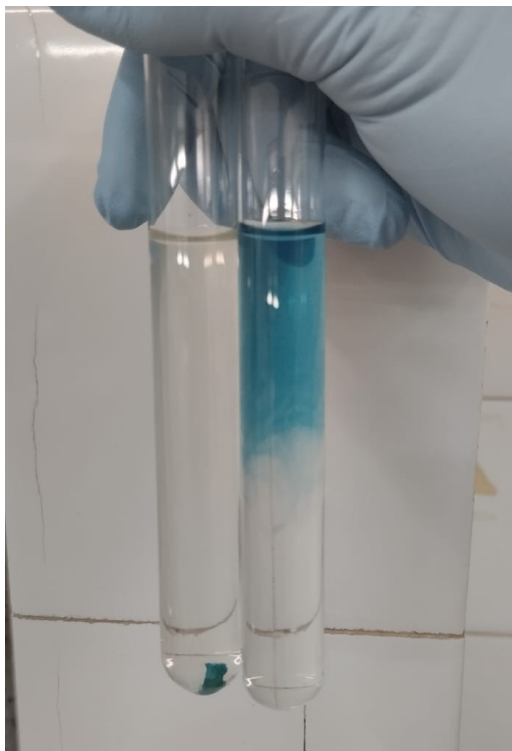


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Podemos citar algumas das vantagens observadas quando da utilização das cápsulas contendo os reagentes colorimétricos. A primeira diz respeito à praticidade de sua utilização, bastando apenas sua colocação no meio em que se deseja verificar a presença de algum dos analitos aqui citados, com método semelhante aos spot tests mencionados anteriormente. A segunda está relacionada à sua portabilidade e segurança no transporte. É possível dizer que, por se tratarem de pequenas cápsulas sólidas, a transportabilidade é muito superior à de soluções líquidas, o que permite o transporte dessas amostras para locais afastados de laboratórios. Outro ponto a destacar é que a utilização de soluções para a análise também deve levar em consideração a utilização de conta-gotas ou outras vidrarias para a aplicação segura dos líquidos, o que adiciona mais preocupações quanto ao uso desse método em pesquisas de campo. A utilização das cápsulas, no entanto, é mais rápida, necessitando apenas da adição da cápsula na amostra, além de praticamente não ser necessária a utilização de qualquer vidraria, podendo ser aplicada em qualquer ambiente, apenas com uma pinça ou luva.

Mesmo sendo mais rápida e prática, a análise por meio das cápsulas não se nota perda da eficiência nas análises entre o método proposto e o clássico. Isso pode ser notado, por exemplo, pela observação da imagem da figura 16:

Figura 15 – Comparação entre cápsula (a esquerda) e solução (a direita) de ferrocianeto de potássio para a detecção do íon ferro III.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Conforme observado, a coloração azulada manifesta-se claramente em ambas as amostras. A única diferença perceptível refere-se à distribuição da cor, que se apresenta mais dispersa na solução e mais concentrada na cápsula. Entretanto, por se tratar de uma análise qualitativa, essa diferença não possui relevância para a pesquisa, visto que está associada exclusivamente ao estado físico da amostra, não comprometendo a interpretação dos resultados obtidos.

Quanto às análises das cápsulas de fenolftaleína, nota-se que é conseguido detectar a mudança de cor quando submetidas a uma solução alcalina, porém sua aplicação não é adequada para determinação de pH da solução num processo titilométrico. Isso se prova ao analisar o que acontece quando a mesma cápsula que foi utilizada em uma solução básica é colocada em uma solução ácida. Ao ser colocada em uma solução básica, a cápsula rapidamente muda de coloração, assumindo a cor rosa em poucos segundos, mas, ao transferir a mesma cápsula, ainda rosa, para uma solução ácida, a mudança de cor é muito lenta, demorando alguns minutos para que a cápsula perca completamente a coloração rosa. A utilização das amostras para esses casos não é necessariamente inútil, pois ela ainda pode ser aplicada para determinar a natureza da solução no momento da

adição da cápsula, mesmo que não seja possível aplicá-las para a determinação exata do pH.

5 CONCLUSÃO

Uma vez finalizada a pesquisa, o método de produção das cápsulas se tornou prático o bastante para a produção em grande escala. Com a quantidade certa de moldes, é possível produzir dezenas dessas amostras em pouco menos de uma hora, visto que a produção da gelatina é um processo simples, que não requer nenhum equipamento complexo.

O custo de produção estimado para a produção de 100 cápsulas do reagente iodeto de potássio foi de aproximadamente R\$ 0,05 por cada cápsula.

O uso da gelatina como meio encapsulante também se provou eficaz para a maioria dos testes realizados, ficando recomendado o uso das cápsulas do nitrato de prata quando recém-produzidas. Talvez, com um pouco mais de pesquisa, seja possível encontrar uma substância ou método de produção específico que possibilite o encapsulamento de substâncias mais problemáticas, como o nitrato de prata, e sua redução acelerada.

Como evidenciado anteriormente por Yuan et al. (2008), a produção de meios para facilitar a análise de campo é uma preocupação que tem crescido no ramo das análises químicas, tanto qualitativas quanto quantitativas. Então a produção das cápsulas aqui elaboradas vem corroborar com as pesquisas para desenvolvimento de variações de métodos de análises clássicas de forma rápida e segura.

Como proposta futura, podemos citar a produção de cápsulas com diferentes reagentes, como o iodeto para a identificação de amido, realização de testes de campo, como a possível identificação de cobre em bebidas alcoólicas produzidas em alambiques ou a detecção de metais poluentes em corpos de água.

A aplicação do método utilizando as cápsulas aqui desenvolvidas mostra um potencial para sua utilização em pesquisas de elementos in situ para análises de campo, minimizando o uso de material, facilitando o transporte e manuseio. Sua aplicação também se estende ao uso acadêmico em aulas práticas em escolas e universidades, facilitando a pesquisa e minimizando custos, tornando as aulas práticas mais seguras e didáticas.

Perspectivas futuras para o trabalho incluem a realização de análises de campo, visto que não foram realizadas durante a pesquisa por n fatores, além da criação de recipientes adequados para o armazenamento das cápsulas, talvez proporcionando mais durabilidade as cápsulas de nitrato de prata, que reduzem por fotorredução, interagindo com a luz do ambiente.

REFERÊNCIAS

ALVIM, T. R.; DE ANDRADE, J. C. **A importância da Química Analítica Qualitativa nos cursos de Química das instituições de ensino superior brasileiras.** Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 168-172, mar. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000100030> Acesso em: 10 dec. 2025.

BACCAN, N.; de ANDRADE, J. C.; GODINHO, O. E. S.; BARONE, J. S.; **Química analítica quantitativa elementar**, 3ª ed. Editora Blucher, São Paulo, 2001.

DOMÉNECH-CARBÓ, M. T.; DOMÉNECH-CARBÓ, A. **Spot Tests: Past and Present.** Springer Science+Business Media, v. 8; n. 4, dez. 2021. Disponível em: [Spot tests: past and present](#). Acesso em: 20 out. 2025.

HACKETT, L. P.; DUSCI, L. J. **Rapid Identification of Drugs in the Overdosed Patient.** Informa, v. 11, n. 3, p. 341-325, 1977.

DEXFER: gotas. Responsável técnico EUROFARMA LABORATÓRIOS S.A.. São Paulo: Myralis Indústria Farmacêutica Ltda., 2023.

JUNGREIS, E.; **Spot Test Analysis. Encyclopedia of Analytical Chemistry.** Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2006. p. 1.

LIN, Q.; HUANG, J.; ZHANG, Y.; CHEN, M.; XU, Y.; ZOU, X.; LIU, S.; DAI, Z.; **A smartphone-assisted “all-in-one” paper chip for one-pot noninvasive detection of salivary glucose level.** Chemical Engineering Journal 468 (2023) 143608.

MATERIAL PROPERTIES. **Gelatin – Material Properties.** Disponível em: [material-properties.org in Bing](#). Acesso em: 22 abr. 2026.

MORANDINI, M. M.; DEL VECHIO, G. H.; **IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências.** Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, SP, v. 17, n. 2, p. 67–77, 2020. DOI: [10.31510/infa.v17i2.866](https://doi.org/10.31510/infa.v17i2.866). Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/866>. Acesso em: 4 mai. 2026.

PUBCHEM; **PubChem Compound Summary for CID 4764, Phenolphthalein**. National Center for Biotechnology Information. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Phenolphthalein>. Acesso em: 15 Jun. 2026.

ROBSON F. F.; introdução à química forense., Campinas SP., Editora Átomo. 2007.

VAITSMAN, D. S.; OLYMAR, A. B.; **Ensaio Químicos Qualitativos**. Rio de Janeiro Interciência Ltda.1995.

VOGEL, A. I.; **Química Analítica Qualitativa**. 5. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981. cap. 4, p. 218-246.

YUAN, J. S.; LI, Y. O.; UE, J. W.; WESLEY, A. S.; DIOSADY, L. L.; **Development of field test kits for determination of microencapsulated iron in double-fortified salt**. Food and Nutrition Bulletin, vol. 29, no. 4 © 2008, The United Nations University.