



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA AMBIENTAL

TRABALHO DE LICENCIATURA

**Avaliação do Método de Transdução Óptica baseado em
smartphone para determinação rápida do iodo no sal de cozinha**



Autora: Nádia Ussene Saquiua

Maputo, Setembro de 2025



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA AMBIENTAL

TRABALHO DE LICENCIATURA

Avaliação do Método de Transdução Óptica baseado em smartphone para determinação rápida do iodo no sal de cozinha

Autora: Nádia Ussene Saquiua

Supervisora: Mestre Noor Jehan Gulamussen

Co-Supervisor: Mestre Sérgio Pina Chibute

Maputo, Setembro de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia ao meu pai, **Ussene Tariqiwa Saquiua**, por tudo quanto tem feito por mim, pelo amor incondicional dado e por me motivar a ser alguém melhor a cada dia, e à minha filha, **Yuzna Batsetsane Ivan Matine**, por ser a minha maior fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pelo dom da vida, aos meus pais Ussene Saquiua e Albertina Moisés pelo apoio incondicional.

Agradeço aos corpos docente e STA, em especial aos meus supervisores, Mestre Noor Jehan Gulamussen e Mestre Sérgio Chibute pela supervisão e atenção dada durante a execução do trabalho.

Aos meus irmãos Aquiba Ussene, Yasser Ussene, Abiba Ussene e ao meu parceiro Ivan Alfredo João Matine por tudo quanto têm feito por mim, e agradeço também ao meu amigo Júlio S. Albino pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

Agradeço também ao meu grande amigo Rui Felizardo Adamo, primeiramente por ter me incentivado na escolha do curso, por ter ajudado na preparação para exame de admissão e pela prontidão de ajudar desde o início até ao fim da minha jornada académica me motivando e dando força para que nunca desistisse mesmo quando eu fracassava.

Agradeço também a todos os meus colegas de turma em especial a Salfina Mahiel, Rachel Jorge, Hamina Amade, Carlos Covane, Junquer Dembo, Verônica Pondeca, Edilson Julião, Stela Maheho, Artilénia Monteiro, Nelson Senda e Estevão Macie.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Nádia Ussene Saquiua, declaro pela minha honra que este trabalho é da minha autoria e que o mesmo foi elaborado com base nos recursos aos quais faço referência ao longo do texto e experiências descritas ao longo do trabalho. Declaro ainda que este trabalho nunca foi apresentado em nenhuma instituição de ensino para obtenção de algum grau académico.

Maputo, Setembro de 2025

A Autora

(Nádia Ussene Saquiua)

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
RESUMO	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos	2
1.1.1. Objectivo geral	2
1.1.2. Objectivos específicos	3
1.2. Justificativa da escolha do tema	3
1.3. Metodologia de Pesquisa	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Iodo.....	5
2.1.1. Características e propriedades do iodo	5
2.1.2. Fontes do iodo	6
2.1.3. Ocorrências do iodo na natureza	6
2.1.4. Iodo no organismo humano	7
2.1.5. Fontes de iodo na dieta humana	8
2.1.6. A concentração de iodo nos seres vivos	9
2.1.7. Adição de iodo ao sal de cozinha.....	10
2.1.8. Importância da fortificação do sal com iodo e seus benefícios.....	10
2.2. Métodos analíticos de determinação de iodo.....	10
2.2.1. Método volumétrico.....	10
2.2.2. Método de análise de imagens digitais (PhotoMetrix)	11

2.2.3.	Método de espectrometria de absorção molecular no ultravioleta e visível	14
2.3.	Parâmetros de avaliação dos métodos analíticos.....	15
2.3.1.	Linearidade.....	15
2.3.2.	Sensibilidade	16
2.3.3.	Precisão.....	16
2.3.4.	Exactidão	16
2.3.5.	Limite de detecção (LD).....	17
2.3.6.	Limite de Quantificação (LQ).....	17
2.3.7.	Teste de concordância entre dois métodos analíticos para amostras diferentes	18
3.	PARTE EXPERIMENTAL	19
3.1.	Reagentes, soluções, materiais e equipamentos	19
3.2.	Amostragem.....	19
3.3.	Procedimentos experimentais	21
3.3.1.	Análise volumétrica	21
3.3.2.	Análise PhotoMetrix.....	22
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1.	Resultados da concentração de iodo nas amostras de sal	25
4.2.	Estatística dos resultados	25
4.2.1.	Linearidade.....	25
4.2.2.	Precisão (%RSD)	26
4.2.3.	Exactidão	26
4.2.4.	Resultados de LD e LQ	27
4.2.5.	Teste de concordância entre os métodos	27

4.3. Comparação das concentrações das amostras com as recomendadas pelo Diploma Ministerial (DM) n.º 7/2000	28
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	31
5.1. Conclusões	31
5.2. Recomendações	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
Anexos	A

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Alimentos que mais contribuem com teor de iodo na dieta humana.	9
Tabela 2: Reagentes, Soluções, Materiais e Equipamentos usados para a realização desse trabalho.	19
Tabela 3: Areas específicas onde foram colhidas as amostras.	19
Tabela 4: Resultados das amostras de sal com os respectivos desvio padrão.	25
Tabela 5: Resultados da avaliação da precisão dos métodos PhM e volumétrico (%RSD).	26
Tabela 6: Resultados da exactidão (R%).	26
Tabela 7: Resultados estatísticos do teste da concordância entre os dois métodos.	27
Tabela 8B: Tabela dos dados obtidos pelo método PhM.	A
Tabela 9B: Tabela das absorvâncias das soluções dos padrões.	A
Tabela 10B: Tabela dos volumes gastos pelo método volumétrico.	C

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aspecto de cristais do iodo e seu vapor violeta	5
Figura 2: Representação estrutural das hormonas da tiróide: a) tiroxina – T4 e b) triiodotironina – T3).....	7
Figura 3: Representação de tiroide normal e com bócio.	8
Figura 4: Transdução da luz visível para ser transformada em matriz numérica (RGB) pelo sensor do dispositivo fotográfico em imagem digital.	12
Figura 5: Cuveta com solução absorvente	14
Figura 6: Componentes dos vários tipos de instrumentos para a espectroscopia óptica.....	15
Figura 7: Apresentação dos locais de amostragem.....	20
Figura 8: Apresentação da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ após a titulação.....	21
Figura 9: Ilustração de mudança da cor durante a titulação da solução de referência de iodo antes da titulação (A) e depois da titulação (B).	22
Figura 10: Ilustração de padrões da curva de calibração de iodo.	23
Figura 11: Ilustração das amostras preparadas para a determinação do iodo usando o aplicativo PhotoMetrix PRO.	24
Figura 12: Representação da comparação das concentrações das amostras com as recomendadas pelo Diploma Ministerial n.º 7/2000.	29
Figura 13D: Apresentação da estrutura utilizada para capturar fotografias pelo método PhM.	C
Figurea 14D: Apresentação do celular utilizado para capturar fotografias pelo método PhM.	C

LISTA DE ABREVIATURAS

PhM	–	PhotoMetrix
EAM-UV-Vis	–	Espectroscopia de Absorção Molecular na Região Ultravioleta e Visível
mg/kg	–	Miligramas por quilograma
LD	–	Limite de Detecção
LQ	–	Limite de Quantificação
RSD	–	Desvio Padrão Relativo
PF	–	Ponto de Fusão
PE	–	Ponto de Ebulição
R	–	Coefficiente de correlação de Pearson
R ²	–	Coefficiente de determinação
%RSD	–	Desvio padrão relativo
X _i	–	Valor observado
X _v	–	Valor verdadeiro.
S _{y/x}	–	S _{y/x} : Desvio padrão residual.

RESUMO

A iodação do sal é uma prática essencial para prevenir distúrbios por deficiência de iodo na população, uma condição prevalente em várias regiões do mundo, incluindo Moçambique. Os métodos analíticos padrões para a quantificação de iodo, embora precisos, podem ser demorados e exigir equipamentos sofisticados, tornando-se ineficientes em áreas com recursos limitados. Este estudo tem como objectivo analisar uma solução inovadora através do uso do aplicativo PhotoMetrix, que emprega a transdução óptica baseada em smartphone para a determinação rápida e eficiente da concentração de iodo no sal de cozinha.

Para a avaliação, o método PhotoMetrix foi comparado com o método volumétrico padrão, considerado como referência. A optimização envolveu ajustes nos parâmetros da reacção de cor e na captura de imagens digitais. Análises foram realizadas em 9 amostras de sal colhidas em salinas de Inhambane, de modo a avaliar a eficácia do método proposto em relação ao método volumétrico padrão.

Os resultados indicaram que o PhotoMetrix apresenta uma boa concordância com o método volumétrico, com limite de detecção de 1.19 mg/kg e limite de quantificação de 3.93 mg/kg. Parâmetros de mérito analítico, como exactidão e precisão, foram satisfatórios para todas as amostras analisadas, e linearidade com coeficientes de correlação (r) superiores a 0,99. As concentrações de iodo nas amostras variaram de 4.18 a 61.93 mg/kg, com duas amostras, salina 1 e 2, fora dos padrões estabelecidos pela legislação nacional que recomenda as concentrações de iodo no sal no intervalo de 25 a 55 mg/kg.

A comparação entre os resultados obtidos pelo PhotoMetrix e pelo método de referência mostrou uma concordância com recuperação variando de 102.0 a 106.0 % para todas as amostras analisadas, e a precisão do PhotoMetrix foi avaliada em termos de desvio padrão relativo (RSD), que se manteve abaixo de 5% para todas as amostras, indicando uma alta repetibilidade e reprodutibilidade do método.

A implementação do PhotoMetrix para análise de iodo oferece várias vantagens: é prático, simples, e de baixo custo, possibilitando análises *in situ* rápidas e eficazes. Isso é especialmente útil em regiões com recursos limitados, onde o acesso a equipamentos de laboratório sofisticados é restrito, como o caso de Moçambique.

Palavras-chave: método analítico, PhotoMetrix, validação do método, sal, iodo e absorvância.

1. INTRODUÇÃO

O programa universal de iodação do sal (USI) é considerado a estratégia mais efectiva para eliminar a deficiência de iodo e consequentes distúrbios como bócio, atraso mental e cretinismo (Hetzel, 2017). O iodo é adicionado na forma de iodeto de potássio (KI) ou iodato de potássio (KIO_3), sendo este último comumente preferido devido à sua estabilidade durante o armazenamento (Galiga e Sevilha, 2021). A Organização Mundial da Saúde recomenda a adição de 20 a 40 mg de iodo/kg de sal de qualidade alimentar (WHO/UNICEF, 2014).

A implementação de programas de iodação do sal em todo o mundo reduziu a incidência da deficiência de iodo, mas 30% da população mundial ainda está em risco. A nutrição com iodo é uma questão crescente nos países industrializados, incluindo os EUA, devido à redução da ingestão de iodo, em parte como resultado das mudanças nos padrões alimentares e nas práticas da indústria de alimentos (Andersson et al., 2012). Poucos países impõem políticas de iodação universal do sal, e as diferenças nas práticas agrícolas, industriais e regulatórias entre os países resultaram em inconsistências nas estratégias de suplementação (Bannwart et al., 2014). Nos EUA, apesar das políticas de iodação do sal, a deficiência leve a moderada de iodo é comum e parece estar aumentando. Os países europeus com a maior incidência de deficiência carecem de programas de iodação (Hatch-McChesney e Lieberman, 2022).

Por outro lado, um número crescente de países está começando a apresentar ingestão de iodo acima dos níveis aceitáveis, levando a distúrbios da tireoide, como hipotireoidismo, autoimunidade da tireoide e hipertireoidismo (Farebrother *et al.*, 2019). Essas condições apontam para a falta de um sistema de monitoramento regular e confiável, necessário para verificar se o teor de iodo do sal disponível está dentro do nível prescrito para o consumo humano (Galiga e Sevilha, 2021).

Vários métodos foram desenvolvidos para medir o iodo no sal de cozinha, incluindo métodos gravimétricos (Yao *et al.*, 1999), titrimétricos (Al-Zamil, 1984; Helrich, 1990), electroquímicos (Nellaiappan e Kumar, 2013) e ópticos (Konkayan *et al.*, 2016), sendo a titulação iodométrica reconhecida como o padrão-ouro. No entanto, esses métodos são demorados e requerem um ambiente de laboratório (Yadav *et al.*, 2015). Os kits de teste rápido (RTK) baseados em um

método óptico foram desenvolvidos e amplamente utilizados para a avaliação de campo do iodo no sal de cozinha (Galiga e Sevilha, 2021).

Os kits disponíveis comercialmente incluem reagentes preparados e fotômetros portáteis cujo desempenho e limitações variam de acordo com a marca da unidade (Galiga e Sevilha, 2021). Embora esses instrumentos tenham um bom desempenho analítico, eles foram classificados como inadequados para um ambiente de poucos recursos e monitoramento remoto devido aos altos custos de aquisição e à necessidade de fornecimento de energia eléctrica, respectivamente (Rohner *et al.*, 2015).

Os avanços tecnológicos na aquisição e no processamento de imagens vêm despertando o interesse dos pesquisadores, principalmente devido à comprovação da eficácia dos seus resultados frente a equipamentos e métodos colorimétricos padrões (Almeida, 2021). Nas determinações químicas onde acontece a modificação de cor mediante uma reacção química, é possível capturar e processar essas imagens, resultando em uma análise mais rápida, com menor custo, sendo uma alternativa utilização de equipamentos robustos e sofisticados, como espectrofotômetros e colorímetros (Helfer *et al.*, 2017; Bazani *et al.*, 2021).

O smartphone tornou-se um unipresente e a sua utilidade foi ampliada devido aos pequenos sensores e software de aplicativo (ou aplicativos) embutidos nele (Galiga e Sevilha, 2021). Com a incorporação de uma câmara digital de alto megapixel, uma tela sensível ao toque de alta resolução e poderosas funções de processamento de imagem, o smartphone surgiu como uma alternativa conveniente aos fotômetros portáteis para medições colorimétricas (Grudpan *et al.*, 2015; Fan *et al.*, 2021). Isso é portabilidade, baixo custo e capacidade de transmissão remota de dados analíticos aumentam a sua vantagem em relação aos fotômetros (Galiga e Sevilha, 2021).

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

Avaliar o método de transdução óptica baseada em smartphone para determinação rápida da quantidade do iodo no sal de cozinha.

1.1.2. Objetivos específicos

- Optimizar os parâmetros para a reacção de cor e para captura da imagem;
- Efectuar a determinação do teor de iodo nas amostras das salinas pelo método de transdução óptica e pelo método volumétrico;
- Comparar o desempenho do método de transdução óptica usando o método volumétrico;
- Confrontar os teores do iodo obtidos com os limites estabelecidos pela legislação nacional.

1.2. Justificativa da escolha do tema

A medição de iodo no sal de cozinha é vital para o controle da iodação, uma ferramenta que ajuda a combater os distúrbios de deficiência de iodo. Este trabalho apresenta um sistema de transdução óptica baseado em smartphone para medição de iodo no sal de cozinha, com o objetivo de propor um método rápido, de alta mobilidade e economia nas análises do teor de iodo das amostras de sal de cozinha. O uso de smartphones apresenta um dispositivo simples, barato, portátil e amplamente disponível para análise no local.

Este método é uma alternativa aos kits comerciais de teste rápido e apresenta mais méritos do que outros métodos que possuem dispositivos baseados em tecnologia da informação, como scanners ópticos e câmeras digitais, que foram anteriormente aplicados para a medição do teor de iodo em sal de cozinha. Portanto, este método será útil para medição *in situ* e em tempo real de iodo no sal de cozinha, especificamente em países como Moçambique que tem recursos limitados para monitorar os níveis de iodo no sal de cozinha.

1.3. Metodologia de Pesquisa

A realização deste trabalho contou com as seguintes fases:

- i. Revisão bibliográfica: consistiu na busca de informações (em artigos, livros, revistas, teses, dissertações e monografias) referentes ao tema em estudo;
- ii. Trabalho de campo: consistiu na colecta de amostras de sal;
- iii. Parte experimental ou ensaios laboratoriais: consistiu na optimização do método de transdução óptica; na determinação do teor de iodo em amostras de sal pelo método de transdução óptica e pelo método volumétrico;

iv. Redacção do relatório: consistiu na organização, esquematização e interpretação dos dados obtidos nas etapas anteriores, culminando com a elaboração do relatório final do trabalho.

Todas as experiências laboratoriais foram feitas no Departamento de Química da UEM.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Iodo

O iodo é um elemento essencial para a saúde humana, sendo um componente crucial dos hormônios da tireoide, tiroxina (T4) e triiodotironina (T3), que regulam o metabolismo, crescimento e desenvolvimento (Zimmermann & Boelaert, 2015). A deficiência de iodo pode causar uma série de problemas de saúde, incluindo bócio, hipotireoidismo e distúrbios cognitivos e neurológicos, particularmente em crianças e fetos (Hetzel e Delange, 2008).

2.1.1. Características e propriedades do iodo

Para Jones *et al.* (2006), citado por Veloso (2012), o iodo é um elemento químico representado pelo símbolo químico I. Ele é classificado como não-metal e, à temperatura ambiente, é um sólido brilhante que sublima facilmente formando um vapor violeta (Figura 1), possui odor forte característico e irritante, um pH de 5.4, ponto de fusão de 184°C, pressão de vapor (20°C) de 0.3 mmHg, densidade do vapor de 8.800 kg/m³, solubilidade em água (25°C) de 0.3 kg/m³ (Indukern, 2007). Este elemento encontra-se no 5º período do grupo 7A da tabela periódica (Barbosa, 2000).

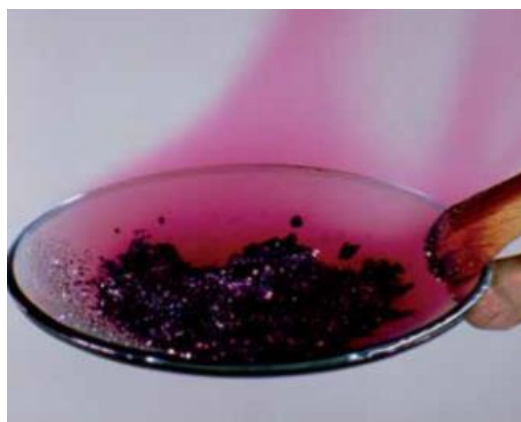


Figura 1: Aspecto de cristais do iodo e seu vapor violeta

Fonte: Boothman (2009).

O iodo é volatilizado pela exposição à luz solar e ao calor. Podem-se minimizar as perdas pela volatilização, na iodação, com a utilização de iodato de potássio substituindo o iodeto de potássio, que é menos estável, e por manter o iodo em meio alcalino (Warkentin, 2003). Todos os

halogéneos são muito reactivos, significa que formam compostos com outros elementos com bastante facilidade. Porém o iodo é o menos reactivo do grupo, e apresenta certas características metálicas (Gray, 2005).

2.1.2. Fontes do iodo

Os autores Teixeira *et al.* (2014) afirmam que o iodo provém da água do mar e do solo. Na água salgada do mar, o iodo é encontrado em pequenas quantidades que variam entre 1 e 50 mg/kg na forma de iodeto de sódio e de potássio (Barsa, 2002). De acordo com Kappanna (1962) citado por Zaia (1985), o iodo encontra-se classificado como elemento menor e a sua concentração na água do mar é muito variável, estando entre 0.013 a 0.118 mg/kg. Já Pavlova (1973) citado por Zaia (1985), diz que o iodo total nos sedimentos encontra-se em média, numa concentração de 50 mg/kg

O nível de iodo na água reflecte o teor de iodo das rochas e solos da região, e consequentemente das plantas comestíveis da região (Bernadá, 2004). Os solos argilosos e aluviais são os mais ricos e os de granito os mais pobres neste oligoelemento; entretanto, o iodo pode ser encontrado no sal de cozinha, em alimentos do mar, além de verduras, legumes e frutas cultivados em regiões litorais (Rodrigues *et al.*, 2015).

2.1.3. Ocorrências do iodo na natureza

Warkentin (2003) afirma que a presença do iodo na natureza é relativamente rara, ocorrendo disperso no ar (0,0007 mg/kg), no solo (0.3 mg/kg), na água doce (0.005 mg/kg), na água do mar (0.15 mg/kg) e no corpo animal (0,4 mg/kg). De acordo com Barsa (2002), as concentrações do iodo variam em função de outros parâmetros, tais como a estação do ano, o clima e a localização geográfica. Está presente nos tecidos orgânicos animais e vegetais em pequenas quantidades, mas é abundante nas algas marinhas. Bernadá (2004) realça que o iodo é encontrado em todos os tecidos e fluido do corpo, e provavelmente em todas as células, mas a maior concentração na glândula tireoide.

As plantas apresentam apenas traços de iodo, excepto para as algas marinhas nas quais o mineral se encontra concentrado. A concentração de iodo nos alimentos de origem vegetal é, portanto, baixa, 0.2-0.4 mg/kg de matéria seca em gramíneas, 0.05-0.3 mg/kg em grãos e 0.2-0.5 mg/kg em tubérculos (Warkentin, 2003).

A mobilidade e distribuição do iodo em muitas regiões é lenta e incompleta, na natureza o elemento diverge significativamente por zona geográfica, a deficiência é especialmente associada a zonas montanhosas e áreas de inundações frequentes. O iodo não se encontra como um elemento puro na natureza, encontra-se sempre combinado com outros elementos ou compostos (Rodrigues *et al.*, 2015).

2.1.4. Iodo no organismo humano

O iodo é acumulado na glândula tiroide, tendo como função a biossíntese das hormonas da tiróide (tiroxina – T4 e triiodotironina – T3) (Figura 2). A glândula tiroide é constituída por dois lobos que se situam um de cada lado da traqueia. Estas hormonas são responsáveis pela regulação do metabolismo celular, nomeadamente da taxa de metabolismo basal, temperatura corporal e desempenham um papel determinante no crescimento, desenvolvimento dos órgãos e especialmente do cérebro (Teixeira *et al.*, 2014).

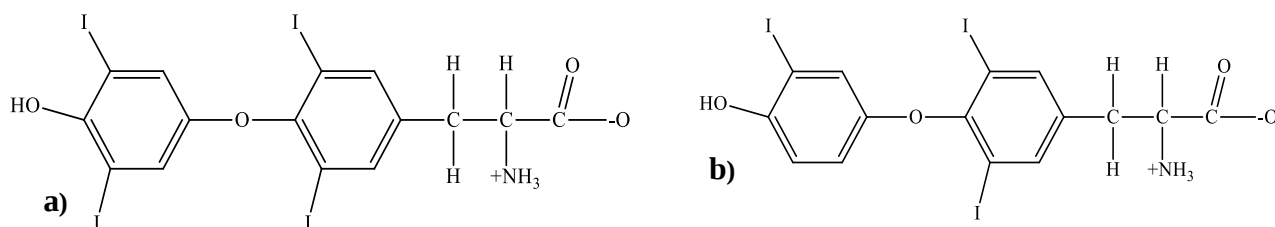


Figure 2: Representação estrutural das hormonas da tiróide: a) tiroxina – T4 e b) triiodotironina – T3).

Sempre que o iodo é insuficiente, a glândula tiroide não produz hormonas suficientes, pelo que a pituitária detecta esses níveis baixos e através da tireoestimulina ou TSH (Thyroid Stimulating Hormone), estimula a tiroide a produzir mais hormonas, mas, como não há iodo, a glândula hipertrofia-se, na tentativa de responder ao que lhe é pedido. O bócio no pescoço, porque é um sinal de que o organismo, está a tentar compensar a falta de iodo. Este manifesta-se através de um aumento da glândula da tiroide secundária. A tiroide é uma estrutura em forma de borboleta como uma gravata ou de H, localizada na face do pescoço, junto á cartilagem tiróide, sendo formada por dois lobos, direito e esquerdo, unidos (figura 3) (Mendes e Zagalo, 2002).

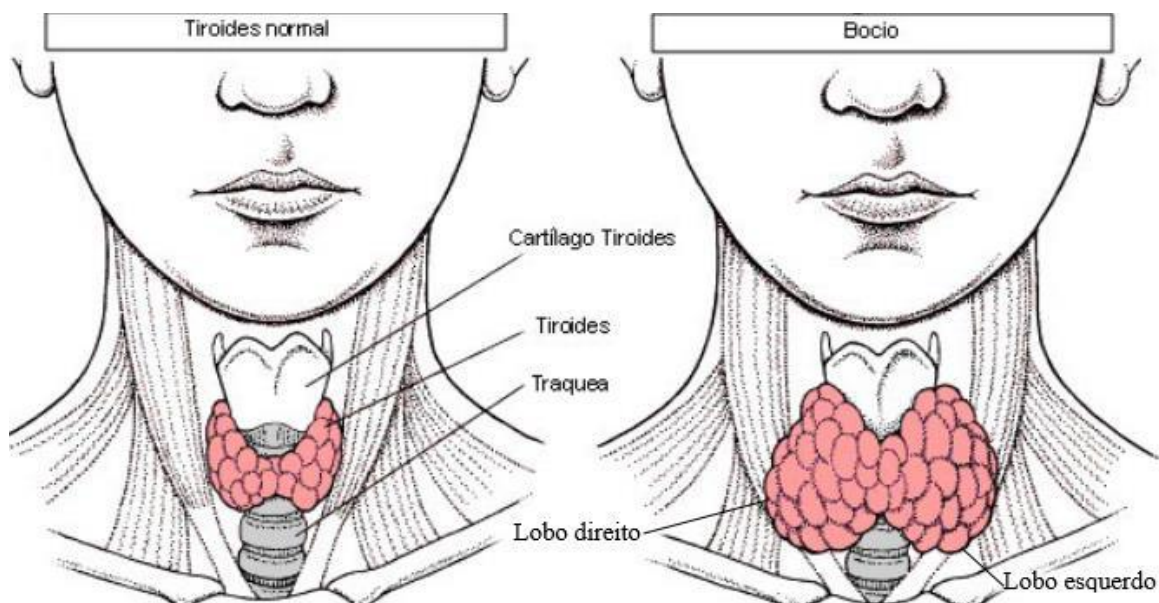


Figura 3: Representação de tireoide normal e com bócio.

Fonte: Esteveira (2015).

Na ausência do iodo, o corpo e o cérebro não se desenvolvem adequadamente, consumir sal iodado na alimentação, ajuda a reduzir o tamanho do bócio, quando este é pequeno. Quando o tamanho do bócio é grande, ao consumir o iodo regularmente como o recomendado, o bócio pode parar de crescer (Graton, 2009).

2.1.5. Fontes de iodo na dieta humana

As principais vias de entrada da maioria dos elementos e compostos no corpo humano são através do ar respirado, os alimentos e água consumida. No caso particular do iodo, é na sua maioria obtido pela alimentação, como via principal ao organismo humano (Fugo e Johnson, 2015).

Lopes e colaboradores (2012), afirmam que a maioria dos alimentos são pobres em iodo natural, contudo, os mariscos são geralmente uma boa fonte deste elemento na dieta humana, isto pelo facto do mar constituir o maior reservatório deste elemento. Em concordância Fugo e Johnson (2015) citam uma compilação de dados de uma selecção de peixes marinhos que mostram valores que variaram de 0,39 a 6,9 mg/kg, adicionalmente afirmam que a maior quantidade deste elemento pode ser encontrada em algumas algas comestíveis que contêm um teor de iodo até 4920 mg/kg.

Em outros alimentos, o teor de iodo mostra-se variável, dependendo da sua origem. A título de exemplo, as plantas cultivadas em zonas com deficiência de iodo são pobres em este elemento, bem como a carne e outros produtos de animais alimentados com plantas pobres em iodo. Entretanto, o sal iodado constitui a melhor fonte alimentar do iodo, sendo assim, condimentar os alimentos com sal iodado é uma prática desejável, pois garante a sua presença na dieta humana (Lopes *et al.*, 2012). Na Tabela 1 são apresentados os alimentos mais comuns que contribuem com teor de iodo na dieta humana.

Table 1: Alimentos que mais contribuem com teor de iodo na dieta humana.

Alimentos	Concentração (mg/kg)
Peixe da água salgada	1455.9
Peixe de água doce	102.8
Vegetais frondosos	88.8
Leite	83.9
Outros vegetais	80.1
Carne	68.4
Cereais	56.0
Frutas	30.6
Água	6.4

Fonte: Macias *et al.* (2016)

2.1.6. A concentração de iodo nos seres vivos

A concentração de iodo nas plantas, ou animais, vai depender do teor de iodo dos solos e das águas, da utilização de desinfetantes iodados na indústria alimentar e uso, na agricultura, de fertilizantes ricos em iodo. A concentração de iodo na planta poderá ser, em média, de 1 mg/kg de peso seco. Em solos pobres de iodo, a sua concentração nas plantas poderá ser de cerca de 1% daquele valor (Teixeira *et al.*, 2014).

Os animais marinhos podem conter altas concentrações de iodo, tornando-se fontes importantes desse mineral, especialmente peixes de águas profundas e alguns frutos do mar. As algas são particularmente ricas em iodo, mas o seu consumo deve ser moderado para evitar excessos. Para combater a deficiência de iodo, recomenda-se optar pelo sal iodado e incluir regularmente peixes, frutos do mar, laticínios e ovos na dieta (Teixeira *et al.*, 2014).

2.1.7. Adição de iodo ao sal de cozinha

A fortificação do sal com iodo é uma prática amplamente **adotada** para prevenir a deficiência de iodo em populações. A adição de iodo ao sal é feita através da mistura de sais de iodo, como iodeto de potássio (KI) ou iodato de potássio (KIO_3), ao sal durante o processo de produção (Diosady et al., 1998). Esta prática é recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e tem-se mostrado eficaz em reduzir a prevalência de distúrbios por deficiência de iodo em muitos países (WHO, 2014).

2.1.8. Importância da fortificação do sal com iodo e seus benefícios

A fortificação do sal com iodo tem vários benefícios significativos. Ela é uma medida preventiva eficaz contra a deficiência de iodo, que é uma das principais causas evitáveis de danos cerebrais e desordens cognitivas em crianças (Zimmermann, 2009). Além disso, a fortificação do sal é uma intervenção de saúde pública de baixo custo, que pode ser facilmente implementada e monitorada (WHO, 2014).

A ingestão adequada de iodo é essencial para a produção normal de **hormônios** tireoidianos, que são **críticos** para o desenvolvimento cerebral em fetos e crianças pequenas, bem como para o metabolismo energético em adultos (Hetzel e Delange, 2008).

2.2. Métodos analíticos de determinação de iodo

Para a determinação de iodo no sal são utilizados diversos métodos analíticos. Entretanto, os métodos analíticos modernos são mais rápidos, práticos e de baixo custo e apresentam benefícios quando comparados com o feito com recurso aos métodos analíticos padrão existentes (Helaleh & Korenaga, 2000). Estas vantagens constituíram um incentivo ao mundo científico a desenvolver um método de análise de imagens digitais, o PhotoMetrix, que se tem mostrado um método promissor na química analítica (Rodrigues, 2015).

2.2.1. Método volumétrico

A titulação iodométrica é o método padrão amplamente aceite como ferramenta padrão para determinar o teor de iodo. O método iodométrico requer custos e técnicos qualificados, o que limita

a sua aplicabilidade para monitoramento de rotina da concentração de iodo no sal (Ounjaijean *et al.*, 2020; Dearth-Wesley *et al.*, 2004). O método de referência para medir o teor de iodo no sal é a titulação iodométrica com a reação tiosulfato-amido como indicador (May *et al.*, 2009).

A iodometria fundamenta-se na reação entre KIO_3 e KI, que, em meio ácido, resulta na liberação de iodo. Este é titulado com tiosulfato de sódio, e utilizou-se a solução de amido como indicador (IAL, 2008).

2.2.2. Método de análise de imagens digitais (PhotoMetrix)

O método **PhotoMetrix** baseia-se na fotometria de absorção e análise digital de imagens, utilizando dispositivos móveis (como um smartphone) para quantificar a interação da luz com uma amostra. Essa técnica permite a análise de concentrações de substâncias em soluções através da medição da intensidade da luz absorvida ou transmitida pela amostra (Bazani *et al.*, 2021). A imagem é definida como uma matriz de linhas e colunas que é constituída por um determinado megapixel (MP) nas suas características. Assim, quanto maior é o megapixel, menor elemento de uma imagem é obtida, consequentemente melhor será a resolução e mais informação terá a imagem (Cortez, 2018; Nascimento, 2020).

A figura 4 mostra como é o processamento dos dados da captura de imagem pelo celular, onde o sinal é convertido em matriz numérica (pixel) por meio de vários transdutores fotossensíveis que convertem a luz reflectida de um corpo, ou seja, utiliza a luz para transmitir as cores vermelho, verde e azul. Cada pixel é composto por um sistema tricromático de acordo com o modelo RGB (do inglês, red, green and blue) que são as cores primárias, vermelho, verde e azul, sendo que outras tonalidades são geradas pela combinação destas três cores, criando um sistema aditivo (Rosa *et al.*, 2022).

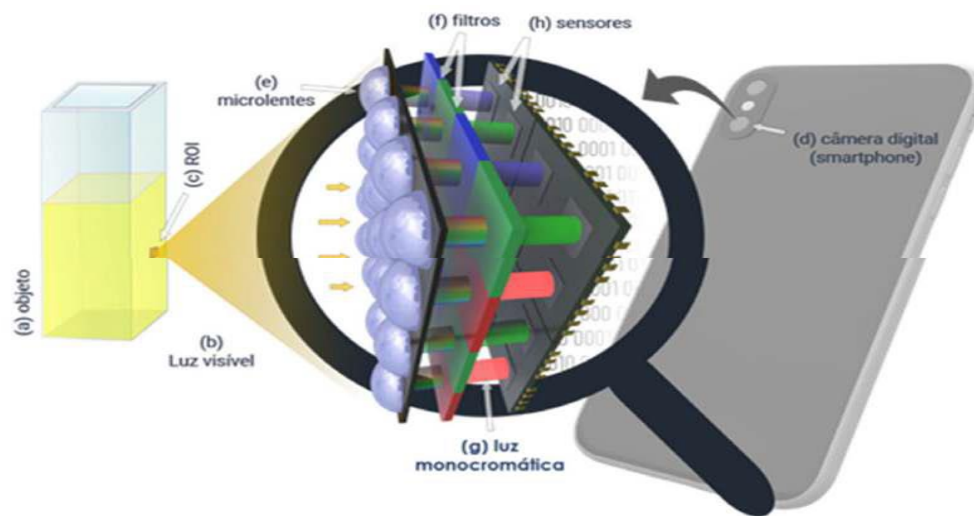


Figure 4: Transdução da luz visível para ser transformada em matriz numérica (RGB) pelo sensor do dispositivo fotográfico em imagem digital.

Fonte: Rosa *et al.* (2022)

De acordo com Rosa *et al.* (2022), um objecto real reflecte a luz visível, e uma Região de Interesse (ROI) dentro da cena é focalizada pela lente da câmara digital do smartphone, permitindo que a imagem seja capturada pelo sensor. A câmara possui milhares de microlentes (e) as quais centralizam os feixes luminosos para os filtros (filtros de Bayer) (f) das respectivas cores monocromáticas (g) vermelha (R), verde (G) ou azul (B) traduzidas em sinal eléctrico pelos sensores (h).

Os componentes da figura 4 podem ser descritos da seguinte forma:

- **Objecto (Amostra)** – Representado por um frasco contendo uma solução líquida, onde ocorre a interacção óptica analisada.
- **Luz visível** – Feixe de luz direccionado à amostra, gerando padrões de transmissão, absorção ou dispersão característicos.
- **Região de Interesse (ROI)** – Área específica onde a luz interage com a amostra e os dados ópticos são extraídos.
- **Smartphone com câmara digital** – Actua como um espectrofotometro portátil, capturando a imagem resultante da interacção da luz com a amostra.

- **Microlentes** – Pequenos componentes ópticos que focalizam e direccionam a luz de maneira eficiente para os sensores.
- **Filtros ópticos** – Seleccionam comprimentos de onda específicos para otimizar a selectividade da análise espectral.
- **Luz monocromática** – Alternativa à luz visível para uma abordagem analítica mais selectiva, permitindo medições precisas por absorção ou fluorescência.
- **Sensores** – Responsáveis pela captação dos dados luminosos, convertendo-os em sinais digitais que serão processados posteriormente.

No método do processamento de imagens digitais, é fundamental a presença da cor, a qual é evidenciada no analito por meio da reacção colorimétrica. Cada espécie colorida tem a capacidade de absorção molecular a partir da radiação electromagnética monocromática. A faixa de espectro electromagnético, a qual o olho humano é sensível, de 400 a 780 nm, e a partir da radiação reflectida também propaga informações das reacções químicas (Santos, 2017).

Nos últimos anos, diferentes grupos de pesquisadores têm utilizado o PhotoMetrix PROR para análise de imagens como ferramenta analítica. Diferentes estudos têm demonstrado a eficiência do aplicativo, como na separação de 6 variedades de extractos de taninos comerciais (Grasel *et al.* 2016), na identificação da cocaína e alguns adulterantes (levamisole, procaína e cafeína), na determinação indirecta do índice de iodo no biodiesel, na especiação de crómio em amostras de couro entre outros estudos (Rodrigues *et al.*, 2015).

O uso de aplicativos como ferramentas pedagógicas, integrados às TICs, promove inovação no ensino, tornando-o mais interactivo, acessível e personalizado, além de desenvolver habilidades digitais, o que vem sendo desenvolvido no ensino de química, sendo de grande apoio no processo do ensino (Helfer *et al.*, 2017). Tornando-se parte das ferramentas pedagógicas encontra-se o PhotoMetrix PRO, reportado por Helfer e colaboradores (2017), o desenvolvimento de um aplicativo livre para smartphone, está disponível para Android e iPhone.

O método PhotoMetrix PRO captura e analisa imagens digitais através de modelos matemáticos univariados e multivariados, permitindo a construção de curvas analíticas e a realização de medições (Lourenço *et al.*, 2020). O uso do aplicativo não implica a substituição dos espectrofotómetros, mas propõe-se para ser uma alternativa de baixo custo e acessível a laboratórios que não disponham do equipamento ou a realização de medidas em campo.

2.2.3. Método de espectrometria de absorção molecular no ultravioleta e visível

A espectrofotometria UV-VIS é uma das técnicas analíticas mais utilizadas para análise quantitativa. As características importantes são a grande aplicabilidade para sistemas orgânicos e inorgânicos, com limites de detecção típicos de 10^{-4} a 10^{-5} M, selectividade moderada a alta, boa exactidão e facilidade na aquisição e interpretação de dados (Holler, 2009). Nesta técnica, a luz na região ultravioleta (190 – 400 nm) e visível (400-780 nm) atravessa a amostra contida na cuveta e uma parte da luz é absorvida pelos componentes da amostra e outra transmitida para um detector num determinado comprimento de onda obedecendo á lei de Lambert-Beer (Skoog *et al.*, 2006).

O processo de absorção inicia-se quando a luz passa através da amostra. A quantidade de luz absorvida é a diferença entre a intensidade da radiação incidente (I_0) e a radiação transmitida (I_t) (Figura 5). Ou seja, a quantidade de luz transmitida é expressa tanto em transmitância ou como absorvância (Holler, 2009).

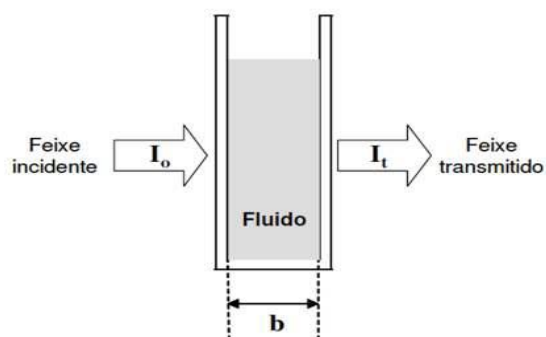


Figure 5: Cuveta com solução absorvente

Fonte: Filho *et al.* (2010)

onde:

I_0 e I_t : correspondem as intensidades de radiação incidente e transmitida, respectivamente;
 b : é a largura interna da cuveta (caminho óptico) e o fluido contém teor c da espécie absorvente.

E a absorvância relaciona-se a transmitância, observada na seguinte equação (1):

$$A = - \lg T \quad (1)$$

A equação (2) representa a lei de Lambert-Beer para a intensidade da luz, que diz que a fracção de luz absorvida por cada camada da amostra é a mesma (Holler, 2009). Ou seja, a absorvância é

directamente proporcional ao caminho (b) que a luz percorre na amostra, concentração (c) e absorctividade (ϵ) (Arrona, 2017).

$$A = -\lg T = \lg \frac{I_0}{I_t} = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (2)$$

Os instrumentos ópticos são constituídos por cinco componentes principais (Figura 6) (Amran et al., 2018), a saber: (1) uma fonte estável de energia radiante, (2) um seleccionador de comprimento de onda, (3) recipientes transparentes para conter a amostra e que permitem a passagem da radiação da região espectral de interesse, (4) um detector de radiação o qual converte a energia radiante para um sinal eléctrico mensurável, (5) um processador com dispositivo que apresenta o sinal traduzido em uma escala de medida em um computador (Skoog *et al.*, 2014).

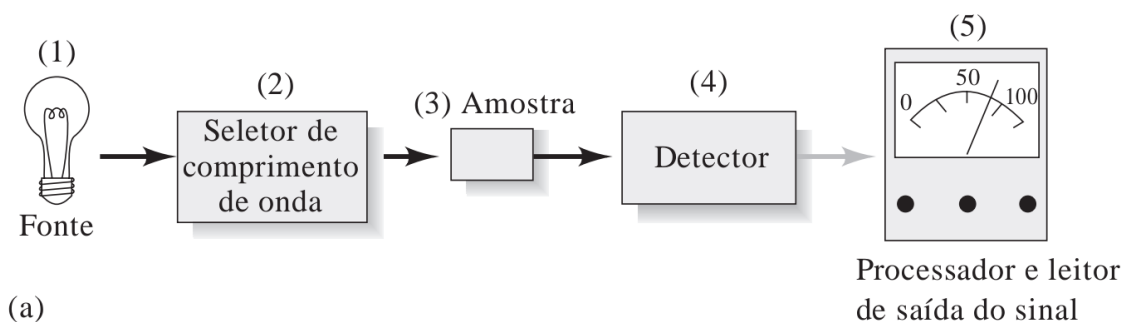


Figura 6: Componentes dos vários tipos de instrumentos para a espectroscopia óptica.

Fonte: Skoog *et al.* (2014)

2.3. Parâmetros de avaliação dos métodos analíticos

A avaliação de métodos analíticos tem como principal objectivo garantir que os resultados obtidos sejam confiáveis e adequados à matriz específica em análise (Vogel, 2020). Para tal, são avaliados parâmetros como linearidade, sensibilidade, precisão, exactidão, limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) (Harris, 2015).

2.3.1. Linearidade

A linearidade é a capacidade do método analítico de fornecer resultados directamente proporcionais à concentração do analito num intervalo específico de concentrações (Miller e Miller, 2018). Para avaliar a linearidade, é recomendado o uso de pelo menos cinco concentrações

diferentes do analito, variando entre 50% a 150% da concentração de interesse. Espera-se que o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R^2) da curva analítica sejam maiores ou iguais a 0,99, o que indica boa linearidade do método (ICH, 2005).

2.3.2. Sensibilidade

A sensibilidade é a capacidade que um instrumento ou método analítico tem de distinguir com um determinado intervalo de confiança duas concentrações próximas. Estatisticamente, a sensibilidade é determinada pelo declive da curva de calibração (b), conforme a seguinte equação (3) (Skoog *et al.*, 2008):

$$y = ax + b \quad (3)$$

onde:

y – Corresponde ao sinal instrumental;

a – Corresponde ao declive da recta;

x – Corresponde à concentração do analito;

b – Corresponde à intersecção.

2.3.3. Precisão

De acordo com Horwitz & Albert (2006), a precisão é a medida da reprodutibilidade e ou repetibilidade dos resultados obtidos, expressa como o desvio padrão relativo (%RSD) das medições repetidas. O desvio padrão relativo é também chamado de coeficiente de variação (CV) e é expresso pela seguinte equação (4):

$$RSD = \frac{\text{Desvio padrão}}{\text{Média}} \times 100 \% \quad (4)$$

2.3.4. Exactidão

De acordo com Harris (2015), refere-se à proximidade entre o valor medido e o valor verdadeiro ou observado pelo método referência de uma quantidade. Um método analítico exacto fornece resultados que apresentam pequeno desvio em relação ao valor verdadeiro. A exactidão é expressa em termos de erro absoluto (E) ou relativo (Er), sendo esse último expresso de acordo com a seguinte equação (5):

$$Er = \frac{Xi - Xv}{Xv} \times 100 \% \quad \text{ou} \quad \text{Recuperação (\%)} = \left(\frac{Xi}{Xv}\right) * 100 \quad (5)$$

onde:

X_i – Valor observado;

X_v – Valor verdadeiro.

2.3.5. Limite de detecção (LD)

O limite de detecção é a menor quantidade de um analito que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, com um nível de confiança estatisticamente aceitável. Em geral, é calculado com base no desvio padrão residual ($S_{y/x}$) e na inclinação da curva de calibração de acordo com a equação (6) (Vogel, 2020):

$$LD = \frac{S_{y/x}}{b} \times 3 \quad (6)$$

onde:

$S_{y/x}$: Desvio padrão residual.

2.3.6. Limite de Quantificação (LQ)

Para Harris (2015), o limite de quantificação representa a menor concentração de um analito que pode ser determinada com precisão e exactidão aceitáveis dentro de um método analítico; é um valor superior ao limite de detecção e definido como um múltiplo do desvio padrão residual ($S_{y/x}$), garantindo reprodutibilidade nas medições. Matematicamente, o Limite de Quantificação é expresso pela seguinte equação (7):

$$LQ = \frac{S_{y/x}}{b} \times 10 \quad (7)$$

onde:

$S_{y/x}$: Desvio padrão residual.

2.3.7. Teste de concordância entre dois métodos analíticos para amostras diferentes

❖ Teste F

Serve para comparar as variâncias de dois grupos e verificar se são significativamente diferentes. Se as variâncias forem semelhantes (não significativamente diferentes), pode-se usar o teste t para variâncias iguais. Se as variâncias forem diferentes, usa-se o teste t para variâncias desiguais (Skoog *et al.*, 2014).

❖ Teste t

Serve para comparar as médias dos dois métodos. Se o teste F indicar variâncias iguais, aplica-se o teste t para amostras independentes com variâncias homogêneas. Se o teste F indicar variâncias diferentes, aplica-se o teste t de Welch, que não assume variâncias iguais (Skoog *et al.*, 2014).

Esses dois testes são comuns quando se quer comparar médias de dois grupos e garantir que se está aplicando a versão correcta do teste t (Skoog *et al.*, 2014).

Para calcular a concentração de iodo nas amostras utilizou-se a equação 8.

$$C(\text{mg/kg}) = \frac{V_{(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} \times 105.83}{m_{(\text{amostra em g})}} \quad (8)$$

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Reagentes, soluções, materiais e equipamentos

Os reagentes, soluções, materiais e equipamentos usados para a realização desse trabalho estão listados na Tabela 2.

Tabela 2: Reagentes, Soluções, Materiais e Equipamentos usados para a realização desse trabalho.

Reagentes e soluções	Materiais e equipamentos
Iodeto de sódio 99.5% (Associated Chemical Enterprises)	Balança Analítica (marca: KERN ALS)
Solução de amido 99.3% (Associated Chemical Enterprises)	Espátula
Tiosulfato de sódio 99% (Associated Chemical Enterprises)	Provetas
Amostras de sal	Buretas
Água destilada	Balões volumétricos
Iodato de potássio 99% (MERCK)	Béquer
Ácido clorídrico 37% (MERCK)	Frasco de Erlenmeyer de 250 mL
Ácido sulfúrico 98% (Rochelle Chemicals)	Funil de vidro
Ácido acético 99.7% (Panreac)	pH-metro (fabricante: J.P.SELECTA)
Acetato de sódio 99% (AMRESCO)	Caixa de papel
Dicromato de potássio (MERCK)	Esguicho
	Placa de aquecimento
	Destilador (fabricante: J.P.SELECTA)
	Vareta de vidro
	Smartphone: HUAWEI P40 Lite (Model: JNY-LX1; EMUI Version: 12; Processor: Huawei Kirin 810; RAM: 8 GB; câmara: AI QUAD, 48MP 1:1.8/26 ASPH)

3.2. Amostragem

As amostras de sal foram colhidas nas províncias de Sofala e Inhambane. Em Sofala considerou-se o distrito de Machanga e em Inhambane os distritos de Guro e Zavala. Em algumas salinas as amostras estavam iodizadas e em outras não. Na Tabela 3 são apresentadas as áreas específicas onde foram colhidas as amostras.

Tabela 3: áreas específicas onde foram colhidas as amostras.

Designação	Tipo de sal	Distrito	Província
Salina 1	Iodado	Guvuro	Inhambane
Salina 2	Iodado	Machanga	Sofala
Salina 3	Iodado	Machanga	Sofala
Salina 4	Iodado	KaMpfumo	Maputo
Salina 5	Não iodado	Machanga	Sofala
Salina 6	Não iodado	Machanga	SoFala
Salina 7	Não iodado	Govuro	Inhambane
Salina 8	Não iodado	Zavala	Inhambane
Salina 9	Não iodado	Zavala	Inhambane

Na Figura 7, encontram-se delineados, sobre o mapa, os pontos correspondentes às localizações específicas onde fez-se amostragens.



Figura 7: Locais de amostragem.

3.3. Procedimentos experimentais

3.3.1. Análise volumétrica

○ Padronização da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 0.1 M

Para a aferição da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, procedeu-se de acordo com o método sugerido por De Andrade (2018). Para o efeito, pesou-se 0.1486 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e seco na estufa a 120 °C durante uma hora, em seguida, deixou-se esfriar por 30 minutos ao ar livre e transferiu-se quantitativamente a massa para um Erlenmeyer e dissolveu-se com 50 mL de água destilada. A solução, adicionou-se 1 g de KI, 4 mL de solução de HCl concentrado (37%), em que o meio tornou-se castanho devido à redução do Cr^{6+} para Cr^{3+} . A solução resultante adicionou-se três gotas de solução de amido a 1% e, de seguida, titulou-se com a solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 0.1 M até a mudança da cor azul para verde-amarelado.



FigurA 8: A solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ após a titulação

○ Determinação da concentração do iodo

Para a determinação das concentrações do iodo pelo método volumétrico, pesou-se 10 g da amostra de sal e dissolveu-se em 200 mL de água destilada num copo de 500 mL, adicionou-se 5 mL de solução de H_2SO_4 a 0.5 M e 1 g de KI, onde o meio se tornou alaranjado. De seguida, adicionou-se 2 mL de solução de amido a 1% e a solução mudou de alaranjado para azul. A solução foi titulada com solução $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 0.005 M, obtida por diluição de 5 mL da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 0.1 M no balão de 100 mL, até ao ponto termo indicado pela viragem da cor azul da solução para incolor (Figura 9).

O branco foi preparado misturando todos os reagentes usados nas amostras, excepto que, no lugar da amostra, adicionou-se água destilada.

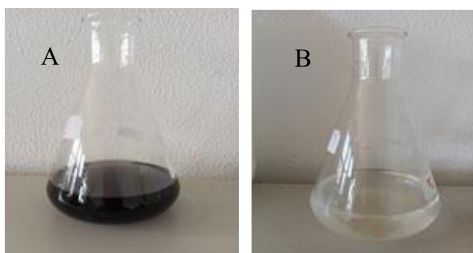


Figura 9: Mudança da cor durante a titulação da solução de referência de iodo antes da titulação (A) e depois da titulação (B).

3.3.2. Análise PhotoMetrix

○ Preparação da curva de calibração

A curva de calibração foi construída por uma série de oito (8) padrões cujas concentrações de iodo foram de 0.00, 1.0, 2.0, 3.0, 6.0, 8.0, 10.0 e 12,0 mg/L do sal iodato de potássio, nas condições da realização das análises.

○ Preparação da solução estoque de 200 mg/L de iodo

Para a preparação da solução estoque de 200 mg/L de iodo, dissolveu-se 0,050 g de iodato de potássio (KIO_3) em água destilada no béquer de 50 mL, transferiu-se para balão volumétrico de 250 mL e fez-se o volume com água destilada.

○ Preparação da solução de trabalho de 100 mg/L

Para a preparação da solução de trabalho de 100 mg/L, tomou-se 50 mL da solução estoque para um balão volumétrico de 100 mL e fez-se o volume com água destilada.

Na preparação da curva de calibração, transferiu-se alíquotas de 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.50, 2.0, 2.50 e 3.0 mL de solução de KIO_3 contendo 100 mg/L em concentração de iodo para balões de 25 mL, de seguida, em cada balão adicionou-se 1 mL de solução de H_2SO_4 a 1 M de modo a permitir a libertação do iodo, 1 mL solução de KI a 2% para aumentar a sua solubilidade, 0.5 mL de solução

de amido a 1 % para a formação do complexo azul amido-iodo, 3,2mL de solução tampão acético-acetato com pH igual a 4 e finalmente perpez-se o volume com água destilada (Figura 10).



FigurA 10: Padrões da curva de calibração de iodo.

Após a preparação dos padrões de calibração, cada balão foi levado para dentro da estrutura feita para a captura de imagem usando o PhM. A captura de imagem de cada balão foi feita exactamente no mesmo lugar, na mesma posição e nas mesmas condições a que foi realizada a captura de imagem de outros balões. As capturas das imagens dos 8 padrões pelo smartphone foram feitas no aplicativo-PhM.

As concentrações de iodo nas amostras de sal foram determinadas a partir da curva de calibração. Para a preparação das soluções da amostra, seguiu-se um procedimento semelhante ao utilizado na preparação dos padrões da curva de calibração, com algumas adaptações específicas.

Inicialmente, pesou-se três porções de 2.500 g de sal, dissolvendo cada uma em 25 mL de água destilada. Essas soluções foram utilizadas para preparar três réplicas destinadas à leitura das intensidades. Para a diluição, retirou-se alíquotas de 2.50 mL de cada solução de sal e transferiu-se para balões volumétricos de 25 mL, completando o volume com água destilada. Em seguida, prosseguiu-se com o procedimento padrão de análise.

A determinação das concentrações de iodo foi realizada a partir das leituras de absorvância, interpolando os valores obtidos na curva de calibração. Além disso, o aplicativo PhotoMetrix foi utilizado para capturar imagens das soluções da amostra, fornecer as concentrações correspondentes e enquadrar os pontos no gráfico gerado pela curva de calibração.

O branco foi preparado misturando todos os reagentes usados na preparação das amostras, excepto que, no lugar da amostra, adicionou-se água destilada.



Figura 11: AS amostras preparadas para a determinação do iodo usando o aplicativo PhotoMetrix PRO.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das amostras de sal analisadas pelo método de transdução óptica (PhM) e comparados com os do método volumétrico.

4.1. Resultados da concentração de iodo nas amostras de sal

Para a determinação das concentrações de iodo nas amostras de sal pelo método PhM, utilizou-se a equação da recta obtida a partir da curva de calibração, $y = 6.1582x + 109.5$ (vide os dados da calibração nos anexos), com coeficiente de determinação de $R^2 = 0.9931$ e factor de diluição de 10. Os resultados obtidos estão representados na tabela 4, em forma de média $\pm$ desvio padrão. As concentrações de iodo pelo método volumétrico foram obtidas utilizando a equação 8.

Tabela 4: Resultados das amostras de sal com os respectivos desvio padrão.

Amostras	Método Volumétrico (mg/kg)	Método PhM (mg/kg)
Branco	2.43 ± 0.21	0.00
Salina 1	60.71 ± 0.61	61.93 ± 1.18
Salina 2	3.94 ± 0.64	4.18 ± 0.58
Salina 3	36.75 ± 1.39	38.56 ± 0.78
Salina 4	36.94 ± 1.37	38.10 ± 1.60
Salina 5	ND	ND
Salina 6	ND	ND
Salina 7	ND	ND
Salina 8	ND	ND
Salina 9	ND	ND

Legenda: ND – Não detectada

4.2. Estatística dos resultados

4.2.1. Linearidade

A linearidade avaliada pelo método PhM resultou na equação da recta $y = 6.1582x + 109.5$, com um coeficiente de determinação $R^2 = 0.9931$. Este valor de R^2 está muito próximo do valor recomendado de 0,99, conforme os critérios de validação da linearidade no método analítico, indicando uma forte correlação entre a concentração do analito e a resposta obtida pelo método. Isso demonstra que, nas condições experimentais estabelecidas, o método PhM apresenta

linearidade adequada, demonstrando uma correlação muito forte entre a absorvância da solução e a concentração do analito dentro do intervalo estudado, conforme as diretrizes estabelecidas por Pum (2019) e Magnusson e Örnemark (2014).

4.2.2. Precisão (%RSD)

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da avaliação da precisão dos métodos PhM e volumétrico.

Tabela 5: Resultados da avaliação da precisão dos métodos PhM e volumétrico (%RSD).

Precisão (%RSD)		
Amostras	Método Volumétrico (%)	Método PhM (%)
Salina 1	0.96	1.90
Salina 2	4.55	4.95
Salina 3	3.57	2.01
Salina 4	3.49	4.22

4.2.3. Exactidão

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da avaliação da exactidão (R%) do método PhM.

Tabela 6: Representação dos resultados da exactidão (R%).

Amostras	Concentração (mg/kg)		R%
	PhM	Volumétrico	
Salina 1	61.93	60.71	102 %
Salina 2	4.18	3.94	106 %
Salina 3	38.56	36.75	105 %
Salina 4	38.10	36.94	103%

Os resultados de exactidão relativa variaram de 102 a 106 %. De acordo com Harris (2015) e Miller & Miller (2018), uma exactidão relativa satisfatória para métodos analíticos deve estar na faixa de 80% a 120%, garantindo que os valores experimentais estejam próximos aos valores reais ou de referência. No presente estudo, a exactidão relativa observada demonstra que o método PhM está dentro dos limites aceitáveis, o que confirma a sua capacidade de fornecer resultados confiáveis para a matriz em questão. Assim, o método PhM mostrou-se adequado e eficaz, atendendo plenamente às directrizes estabelecidas para a exactidão relativa em métodos analíticos.

4.2.4. Resultados de LD e LQ

Os resultados obtidos para o limite de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ) foram satisfatórios. O LD foi de 1.19 mg/kg, enquanto o LQ foi de 3.93 mg/kg. Segundo os critérios de Magnusson & Örnemark (2014), um método analítico é considerado adequado quando o coeficiente de variação da exactidão no LQ é inferior a 20%, garantindo que as medições sejam confiáveis dentro da faixa de quantificação. Além disso, a relação LQ/LD próxima de 3 confirma a adequação do método para a quantificação precisa do analito na matriz estudada. Dessa forma, os valores obtidos indicam que o método é sensível o suficiente para detectar e quantificar com precisão as concentrações do analito, garantindo a sua aplicabilidade na análise em questão.

4.2.5. Teste de concordância entre os métodos

A Tabela 7 apresenta os resultados estatísticos do teste t entre os resultados obtidos pelo método proposto PhM e o método de referência volumétrico.

Tabela 7: Resultados estatísticos do teste da concordância entre os dois métodos.

Amostras	Concentração (mg/kg)		(F _{cal} < F _{crit})		(t _{cal} < t _{crit})	
	PhM	Volumétrico	F _{cal}	F _{crit}	t _{cal}	t _{crit}
Salina 1	61.93	60.71	2.82	19.0	0.940	2.776
Salina 2	4.18	3.94	1.223	19.0	0.481	2.776
Salina 3	38.56	36.75	3.72	19.0	1.950	2.776
Salina 4	38.10	36.94	1.89	19.0	1.070	2.776

A partir dos resultados apresentados na Tabela 7, pode-se concluir que, de acordo com os valores do teste F, não há diferenças significativas entre as variâncias dos dois métodos, pois o valor

calculado é menor que o valor crítico (Christian *et al.*, 2014). Posteriormente, aplicou-se o teste t-student com vista a comparar as duas médias experimentais obtidas pelos métodos PhM e volumétrico, onde pode-se observar que não há diferenças significativas entre as médias obtidas pelos dois métodos, pois o valor de t calculado é menor que o valor crítico, ao nível de confiança de 95%.

Montgomery (2013) destaca que o teste t é fundamental na validação analítica, pois confirma a equivalência dos métodos em termos de exactidão. Assim, podemos concluir que os dois métodos produzem resultados estatisticamente equivalentes, sendo ambos adequados para a determinação da concentração de iodo em amostras de sal.

Contudo, na utilização do método de transdução óptica baseada em smartphone (PhM) para análise de iodo, é crucial trabalhar na faixa de concentração optimizada e assegurar um ambiente de luz equilibrada. Pequenas variações de luz podem interferir na precisão dos resultados. Para amostras que apresentam coloração intensa, a intensidade da luz branca não deve ser excessiva, pois pode afectar a leitura da cor da amostra, resultando em uma subestimação da concentração de iodo.

4.3. Comparação das concentrações das amostras com as recomendadas pelo Diploma Ministerial (DM) n.º 7/2000

Na Figura 12 apresenta-se, de forma comparativa, as concentrações das amostras e a comparação com as normas recomendadas pelo Diploma Ministerial n.º 7/2000.

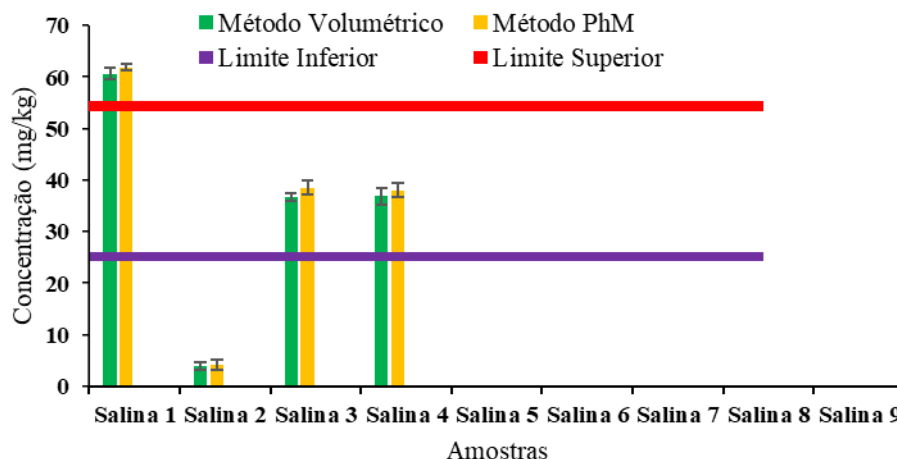


Figura 12: Representação da comparação das concentrações das amostras com as recomendadas pelo Diploma Ministerial n.º 7/2000.

As concentrações de iodo nas amostras de sal mostram variações significativas em relação aos limites estabelecidos pela norma moçambicana, Diploma Ministerial n.º 7/2000, que exige que o sal iodado contenha entre 25 e 55 mg/kg de iodo.

- **Salina 1**

As concentrações de iodo na Salina 1 foram de 60.71 ± 0.60 mg/kg e 61.93 ± 1.18 mg/kg pelos métodos volumétrico e PhM, respectivamente. Esses valores estão acima do limite máximo recomendado, que é de 55 mg/kg. Resultados semelhantes foram observados no estudo de Silva *et al.* (2022), que encontrou concentrações de iodo superiores ao limite máximo permitido em algumas amostras de salinas no Brasil. O excesso de iodo pode causar problemas de saúde, como tireotoxicose, conforme evidenciado por Silva *et al.* (2022), que associaram níveis elevados de iodo a distúrbios da tireoide em áreas com alta concentração de iodo. Assim, as concentrações na Salina 1 são preocupantes e necessitam de ajustes para atender aos padrões de saúde pública.

- **Salina 2**

Na Salina 2, as concentrações de iodo foram de 3.94 ± 0.19 mg/kg pelo método volumétrico e 4.18 ± 0.58 mg/kg pelo método PhM. Esses valores estão abaixo do limite mínimo recomendado, que é de 25 mg/kg. Os níveis de iodo inferiores ao mínimo estabelecido pela norma moçambicana podem causar problemas de saúde relacionados à deficiência de iodo, como bócio e deficiências

cognitivas. Portanto, as concentrações de iodo na Salina 1 são insuficientes, exigindo correção para atender aos requisitos mínimos estabelecidos.

- **Salina 3**

Para a Salina 3, as concentrações de iodo foram de 36.75 ± 1.39 mg/kg e 38.56 ± 0.78 mg/kg, e estão dentro do intervalo permitido pela norma (25 a 55 mg/kg). Este resultado é similar ao encontrado por Silva *et al.* (2022), que relataram amostras com níveis próximos ao máximo permitido e destacaram a importância do monitoramento contínuo. Hernandez *et al.* (2021) também alertaram que, mesmo com os níveis dentro do intervalo recomendado, é crucial manter um controle rigoroso para evitar ultrapassar o limite superior e reduzir os riscos associados ao excesso de iodo.

- **Salina 4**

Na Salina 4, a concentração de iodo foi de 36.94 ± 1.37 mg/kg pelo método volumétrico e 38.10 ± 1.60 mg/kg pelo método PhM, valores dentro dos limites estabelecidos pela norma Moçambicana. Esses resultados são similares às observações de Silva *et al.* (2022), que identificaram algumas amostras com níveis de iodo próximos ao limite máximo e sugeriram ajustes para garantir a conformidade. Hernandez *et al.* (2021) destaca que concentrações próximas ao limite superior devem ser monitoradas com cuidado para garantir que os níveis se mantenham dentro dos padrões seguros, evitando riscos à saúde.

- **Salinas 5 a 9**

As amostras recolhidas nas Salinas 5 a 9 apresentaram resultados analíticos classificados como Não Detectado para o analito alvo, o que indica que as concentrações encontradas se situam abaixo do LQ estabelecido para o método analítico utilizado.

O LQ representa o menor valor de concentração que pode ser quantificado com exactidão e precisão aceitáveis, de acordo com os critérios de validação do método. A ausência de quantificação nestas amostras não implica necessariamente a inexistência do composto, mas sim que a sua concentração encontra-se inferior à capacidade do método para determinar quantitativamente com fiabilidade.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

No presente trabalho, foi avaliado o método de transdução óptica baseado em smartphone (PhM) para a determinação rápida de iodo no sal de cozinha, comparando-o com o método volumétrico padrão. A otimização das condições de determinação demonstrou que o método PhM apresentou precisão satisfatória, com uma percentagem de desvio padrão relativo (%RSD) variando entre 0,96% e 4,95%. Além disso, a exactidão relativa (R%) variou de 102% a 106%, situando-se dentro da faixa de 80-120% recomendada por Magnusson *et al.* (2014), o que indica que o método é adequado para este parâmetro de validação. Assim, conclui-se que a transdução óptica baseada em smartphone é uma alternativa viável e precisa para a determinação de iodo no sal, apresentando resultados comparáveis ao método volumétrico tradicional.

As análises das amostras de sal das 9 salinas, das quais 5 amostras revelaram concentrações de iodo não detectáveis e 4 amostras variando de 4 mg/kg a 70 mg/kg. Comparando esses valores com a norma moçambicana estabelecida pelo Diploma Ministerial n.º 7/2000, que exige que o sal iodado contenha entre 25 e 55 mg/kg de iodo, observou-se que algumas amostras não estão em conformidade com os padrões recomendados.

A salina 1 apresentou uma concentração de iodo acima do limite máximo permitido, o que pode representar riscos à saúde, como tireotoxicose e outras complicações associadas ao excesso de iodo. Por outro lado, a salina 2 registou uma concentração muito abaixo do mínimo exigido, o que pode levar a problemas como bócio e deficiências cognitivas, especialmente em crianças. Enquanto as amostras das salinas 3 e 4 apresentaram concentrações dentro do intervalo recomendado.

Dessa forma, os resultados evidenciam a importância do controle da iodação do sal para garantir que as concentrações estejam dentro dos limites adequados, evitando tanto a deficiência quanto o excesso desse elemento essencial para a saúde.

5.2. Recomendações

Considerando a necessidade de métodos inovadores, rápidos, práticos e de baixo custo em comparação com os métodos existentes para a análise de iodo no sal, são apresentadas algumas orientações e recomendações:

- ❖ Monitoramento rigoroso: implementar um monitoramento rigoroso e contínuo das concentrações de iodo no sal comercializado para garantir que elas estejam dentro dos limites estabelecidos pela norma moçambicana NM 06:2000.
- ❖ Medidas Correctivas: em casos de detecção de concentrações de iodo fora dos limites normativos, tomar medidas correctivas imediatas. Para concentrações abaixo do mínimo exigido, ajustar o processo de iodação para garantir níveis adequados de iodo. Para concentrações excessivas, revisar e controlar rigorosamente o processo de adição de iodo para evitar riscos de saúde.

A adopção dessas recomendações contribuirá para a melhoria da qualidade do sal iodado consumido pela população e, conseqüentemente, para a saúde pública, prevenindo os distúrbios associados à deficiência e ao excesso de iodo na dieta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. R. (2021). Avanços em análise por imagem digital: Fundamentos e aplicações. *Química Nova*, *44*(3), 345–352.
- Al-Zamil, I. Z. (1984). Consecutive indirect titration of periodate and iodate with EDTA. *Analytica Chimica Acta*, 158, 383–387. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)84846-1](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)84846-1)
- Amran, M. B., Bora, G. & Dulanlebit, Y. H. (2018). Design and implementation of spectrophotometry for iodine determination based on flow injection analysis. *Journal of Research & Method in Education*, 8(2), 53–58.
- Andersson, M., Karumbunathan, V., & Zimmermann, M. B. (2012). Global iodine status in 2011 and trends over the past decade. *The Journal of Nutrition*, 142(4), 744–750. <https://doi.org/10.3945/jn.111.149393>
- Arrona, R. C. (2017). Practical activity for development and validation of a simple UV-spectroscopic method for iodate determination in table salt. *Journal of Laboratory Chemical Education*, 5(2), 26–31.
- Bannwart, G. C. M. C., Elisabeth, M., Silva, M. P., & Vidal, G. (2014). Redução de sódio em alimentos: Panorama atual e impactos tecnológicos, sensoriais e de saúde pública. *Nutrire*, 39(3), 348–365.
- Barbosa, L. C. (2000). Química inorgânica: Fundamentos e aplicações. Editora UFMG.
- Barsa, J. (2002). Elementos traço na natureza. Editora TecnoCientífica.
- Bazani, E. J. O., Barreto, M. S., Demuner, A. J., Santos, M. H., Cerceau, C. I., Blank, D. E., Firmino, M. J. M., Souza, G. S. F., Franco, M. O. K., Suarez, W. T., & Stringheta, P. C. (2021). Smartphone application for total phenols content and antioxidant determination in tomato, strawberry, and coffee employing digital imaging. *Food Analytical Methods*, 14, 631–640.

Bernadá, M. (2004). *Nutrição e saúde pública: Iodo e prevenção de doenças*. Editorial Médica Panamericana.

Boothman, N. (2009). *How to make people like you in 90 seconds or less*. Workman Publishing.

Christian, G. D., Dasgupta, P. K., & Schug, K. A. (2014). *Analytical chemistry* (7th ed.). John Wiley & Sons.

Cortez, J. (2018). *Processamento digital de imagens: Teoria e prática*. Editora Érica.

De Andrade, J. C. (2018). *Análise química quantitativa elementar* (8ª ed.). Editora LTC.

Dearth-Wesley, T., Makhmudov, A., & Caldwell, K. L. (2004). Iodine status in the U.S.: National Health and Nutrition Examination Survey, 2001–2002 (Relatório). Centers for Disease Control and Prevention (CDC).

Diosady, L. L., Alberti, J. O., Venkatesh Mannar, M. G. & FitzGerald, S. (1998). Stability of iodine in iodized salt used for the fortification of wheat flour. *Food and Nutrition Bulletin*, 19(3), 260–268.

Esteveira, P. (2015). *Anatomia da glândula tireoide*. Editora Médica Santos.

Fan, Y., Li, J., Guo, Y., Xie, L., & Zhang, G. (2021). Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 171, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108829>

Farebrother, J., Zimmermann, M. B., & Andersson, M. (2019). Excess iodine intake: Sources, assessment, and effects on thyroid function. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1–25. <https://doi.org/10.1111/nyas.14041>

Filho, J. M., Silva, R. C., & Oliveira, P. R. (2010). *Espectrofotometria UV-Vis: Princípios e aplicações*. Editora UnB.

Fugo, K., & Johnson, L. (2015). *Iodine in the diet: Sources and bioavailability*. CRC Press.

Galiga, E., & Sevilha, M. (2021). *Iodine fortification: Methods and monitoring*. Springer.

- George, M., Balasubramanian, N., & Nagaraja, K. S. (2011). Spectrophotometric determination of iodine species in tablet salt, pharmaceutical preparations, and sea water. *Eurasiana Journal of Analytical Chemistry*, 6(2), 129–139.
- Grasel, F. S., Ferrão, M. F., & Wolf, C. R. (2016). Development of a digital image method for determination of tannins in red wine. *Food Chemistry*, *196*, 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.105>
- Graton, M. E. (2009). *Endocrinologia clínica: Da infância à idade adulta*. Editora Artmed.
- Gray, T. (2005). *The elements: A visual exploration of every known atom in the universe*. Black Dog & Leventhal Publishers.
- Holler, F. J. (2009). *Principles of instrumental analysis* (6^a ed.). Brooks/Cole.
- Grudpan, K., Kolev, S. D., Lapanantnopakhun, S., McKelvie, I. D., & Wongwilai, W. (2015). Applications of everyday IT and communications devices in modern analytical chemistry: A review. *Talanta*, 136, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.12.042>
- Harris, D. C. (2015). *Quantitative chemical analysis* (9th ed.). W. H. Freeman.
- Hatch-McChesney, A., & Lieberman, H. R. (2022). Iodine and mental performance: A review. *Nutrition Reviews*, *80*(6), 1530–1542. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac007>
- Helaleh, M. I. H., & Korenaga, T. (2000). Ion chromatographic determination of iodide in urine and serum using a platinum electrode. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, *744*(2), 433–437. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)00269-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)00269-3)
- Helfer, G. A., Magnus, V. S., Böck, F. C., Eichmann, A. T., Ferrão, M. F. & da Costa, A. B. (2017). Photometrix: an application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(2), 328–335. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160182>.
- Helrich, K. (1990). *Official method of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed., Vols. 1-2). Arlington, VA: AOAC

- Hernandez, P., Martinez, F., & Garcia, L. (2021). Iodine deficiency in Spanish salt samples and its potential health impacts. *European Journal of Nutrition*, 60, 213–221.
- Hetzel, B. S. (2017). Iodine deficiency and its prevention. In S. R. Qua (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (2nd ed., pp. 336–341). Academic Press.
- Hetzel, B. S., & Delange, F. (2008). Thyroid hormone physiology and iodine deficiency diseases. In *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*.
- Horwitz, W., & Albert, R. (2006). The Horwitz ratio (HorRat): A useful index of method performance with respect to precision. *Journal of AOAC International*.
- Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos* (3ª ed.). São Paulo: IAL.
- International Conference on Harmonisation. (2005). *Validation of analytical procedures: Text and methodology (ICH Q2(R1))*.
- Indukern. (2007). Ficha de dados de segurança: Iodo. Indukern.
- Jones, A., Smith, B., & Brown, C. (2006). *Chemistry of the elements*. Oxford University Press.
- Kappanna, A. N. (1962). *Marine chemistry*. Allied Publishers.
- Khazan, M., Azizi, F., & Hedayati, M. (2013). A review on iodine determination methods in salt and biological samples. *Scimetr*, 1(14092), 1–9.
- Konkayan, M., Limchoowong, N., Sricharoen, P., & Chanthai, S. (2016). A highly sensitive and selective method for the determination of iodate in table-salt samples using malachite green-based spectrophotometry. *Analytical Sciences*, 32, 1231–1236. <https://doi.org/10.2116/analsci.32.1231>
- Lopes, C., Silva, D., & Oliveira, M. (2012). *Alimentação e nutrição: Iodo na dieta*. Editora Rubio.

- Lourenço, F. R., Pinto, T. J. A., & Silva, V. L. (2020). Validação de métodos analíticos usando PhotoMetrix PRO. *Química Nova*, *43*(5), 612–619. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170514>
- Macias, R., Garcia, L., & Fernandez, P. (2016). Tabela de composição de alimentos. Editora McGraw-Hill.
- Magnusson, B., & Örnemark, U. (2014). *Eurachem guide: The fitness for purpose of analytical methods – A laboratory guide to method validation and related topics* (2nd ed.). Eurachem
- May, W., Parris, R., Beck, C., Fassett, J., Greenberg, R., Guenther, F., ... & Wise, S. (2009). Definitions of terms and modes used at NIST for value-assignment of reference materials (NIST Special Publication 260-136). National Institute of Standards and Technology.
- Mendes, E., & Zagalo, C. (2002). Patologia da tireoide. Editora Lidel.
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2018). *Statistics and chemometrics for analytical chemistry* (7th ed.). Pearson.
- Ministério da Saúde. (2000). *Diploma Ministerial n.º 7/2000, de 5 de Janeiro. Torna obrigatória a adição de iodato de potássio ao sal alimentar*. Boletim da República, I série, n.º 1.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-14692-7. 747 pp
- Nascimento, E. S. (2020). Análise de imagens digitais: Teoria e prática. Editora CRV.
- Nellaiappan, S., & Kumar, A. S. (2013). Electrochemical determination of iodide using a carbon paste electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *690*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.11.019>
- Ounjaijean, S., Rangkadilok, N., & Satayavivad, J. (2020). Determination of iodine in food and biological samples: A review. *Food Chemistry*, *312*, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126134>.
- Pavlova, V. (1973). Geoquímica de sedimentos marinhos. Editora Mir.

- Pum, L. (2019). *Principles of analytical chemistry: A textbook* (2nd ed.). Springer
- Rodrigues, J. H. M. (2015). Estado da arte, em 2014, dos métodos de determinação do iodo, in vitro. *Tese de Mestrado em Ciências Farmacêuticas*, Instituto Superior de Ciências de Saúde Egas Moniz, Brasil.
- Rohner, F., Kangamb`ega, M. O., Khan, N., Kargougou, R., Garnier, D., Sanou, I., & Jooste, P. (2015). Comparative validation of five quantitative rapid test kits for the analysis of salt iodine content: Laboratory performance, user- and field-friendliness. *PloS One*, *10*, 1–16.
- Rosa, S., Silva, A., & Pereira, C. (2022). Processamento digital de imagens para análise química. Editora UFSC.
- Santos, M. J. (2017). Colorimetria e análise de imagens. Editora Blucher.
- Silva, A., Souza, R., & Almeida, M. (2022). High iodine concentrations in Brazilian salt samples: Implications for public health. *Journal of Food Composition and Analysis*, *37*, 45–52.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Fundamentals of analytical chemistry* (9^a ed.). Cengage Learning. Belmont, USA.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). Fundamentos de química analítica (8^a ed.). Thomson.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2006). Fundamentos de química analítica (8.^a ed.). Thomson, Norte Americana.
- Teixeira, R., Alves, C., & Santos, P. (2014). Iodo: Da geoquímica à saúde humana. Editora Fiocruz.
- Veloso, C. A. (2012). Química dos halogênios. Editora Edgard Blücher.
- Vogel, A. I. (2020). *Vogel's textbook of quantitative chemical analysis* (6th ed.). Longman
- Warkentin, B. (2003). Soil science and human health. CRC Press.

- World Health Organization, United Nations Children's Fund, & International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders. (2014). *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: A guide for programme managers* (3rd ed.). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241595827>
- Yadav, K., Kumar, R., Chakrabarty, A., & Pandav, C. S. (2015). A reliable and accurate portable device for rapid quantitative estimation of iodine content in different types of edible salt. *Indian Journal of Public Health*, 59, 204–209. <https://doi.org/10.4103/0019-557x.164658>
- Yao, S. Z., Chen, P., & Wei, W. Z. (1999). A quartz crystal microbalance method for the determination of iodine in foodstuffs. *Food Chemistry*, 67, 311–316. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00121-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00121-1)
- Zaia, D. A. M. (1985). *Geoquímica de oligoelementos em sedimentos*. Editora da Universidade de São Paulo.

ANEXOS

Tabela 8B: Tabela dos dados obtidos pelo método PhM.

Amostras	Intensidade	(mg/kg)	(mg/kg)·fd	Média	SD	%RSD	R%
Salina 1	147.40	6.15	61.55	61.93	1.18	1.90	102 %
	148.45	6.32	63.25				
	147.06	6.10	60.98				
Salina 2	112.17	0.434	3.60	4.18	0.58	4.95	106 %
	112.11	0.424	4.17				
	111.93	0.394	4.75				
Salina 3	132.86	3.79	37.93	38.57	0.78	2.01	105 %
	133.78	3.94	39.43				
	133.11	3.83	38.34				
Salina 4	131.87	3.63	36.32	38.10	1.61	4.22	103%
	133.79	3.94	39.45				
	133.24	3.85	38.54				
LD	1.19 mg/kg						
LQ	3.96 mg/kg						

Tabela 9B: Tabela das absorvâncias das soluções dos padrões.

Padrões	(mg/kg)	Intensidade
Branco	0	111.707
Padrão 1	1	116.512
Padrão 2	2	121.293
Padrão 3	3	127.879
Padrão 4	6	142.050
Padrão 5	8	158.221
Padrão 6	10	170.393
Padrão 7	12	186.564

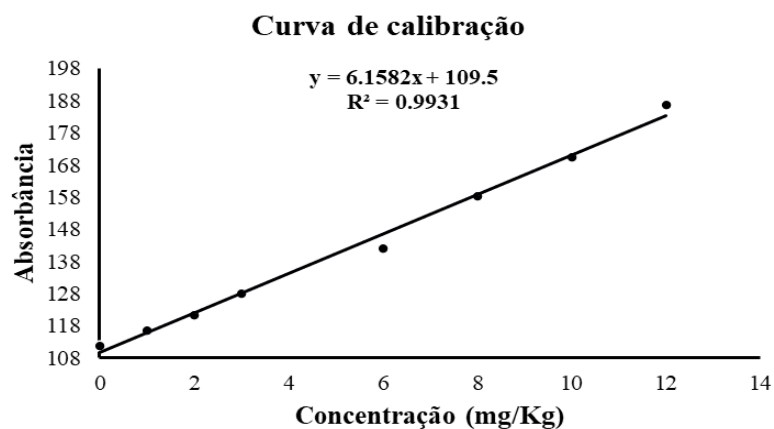


Figura 1B: Apresentação da curva de calibração

Tabela 1B: Tabela dos dados obtidos pelo método volumétrico

Amostras	(mg/kg)	Média	SD	%RSD
Salina 1	62.43	60.71	0.60	0.96
	63.49			
	63.46			
Salina 2	4.5458	3.94	0.19	4.55
	4.4154			
	4.1545			
Salina 3	38.99	36.75	1.40	3.57
	37.89			
	40.66			
Salina 4	38.13	36.94	1.37	3.49
	40.85			
	39.14			

Tabela 10B: Volumes gastos do titulante.

Amostras	Replicas volumes $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)	Medias volumes $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)
Salina 1	V1=6.2 V2=5.6 V3=5.3	5.7
Salina 2	V1=0.4 V2=0.3 V3=0.2	0.3
Salina 3	V1=3.6 V2=3.2 V3=3.4	3.4
Salina 4	V1=3.3 V2=3.5 V3=3.4	3.4



Figura 13D: Apresentação da estrutura utilizada para capturar fotografias pelo método PhM.



Figure 14D: Apresentação do celular utilizado para capturar fotografias pelo método PhM.