



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CAMPUS BLUMENAU**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**GABRIELE SMANHOTTO MALVESSI**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS EM PAPEL PARA ANÁLISE  
QUALITATIVA E SEMIQUANTITATIVA DE ANTIOXIDANTE**

**BLUMENAU – SC**  
**JUNHO/2019**

**GABRIELE SMANHOTTO MALVESSI**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS EM PAPEL PARA ANÁLISE  
QUALITATIVA E SEMIQUANTITATIVA DE ANTIOXIDANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de Ciências  
Exatas e Educação, do Centro Blumenau da  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
como requisito parcial para a obtenção do  
título de Licenciada em Química.

Orientador: Eduardo Zapp

Coorientadora: Daniela Brondani

**Blumenau - SC**

**2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Malvessi, Gabriele Smanhotto  
Desenvolvimento de dispositivos em papel para análise  
qualitativa e semiquantitativa de antioxidante / Gabriele  
SmanhottoMalvessi ; orientador, Eduardo Zapp, coorientadora,  
Daniela Brondani, 2019.  
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,  
Graduação em Química, Blumenau, 2019.

Inclui referências.

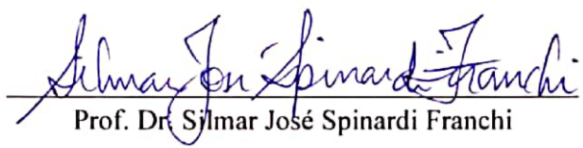
1. Química. 2. Experimentação. 3. Antioxidante. 4. Lab-on  
Paper. 5. Dispositivo redox. I. Zapp, Eduardo. II. Brondani,  
Daniela . III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Química. IV. Título.

Gabriele Smanhotto Malvessi

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS EM PAPEL PARA ANÁLISE  
QUALITATIVA E SEMIQUANTITATIVA DE ANTIOXIDANTE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de “Licenciado em Química” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em Química.

Blumenau, 19 de Junho de 2019



Prof. Dr. Sylmar José Spinardi Franchi

Coordenador do Curso

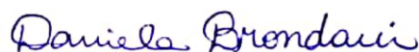
**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Eduardo Zapp

Orientador

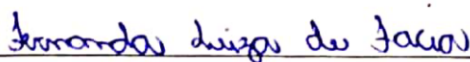
UFSC - Blumenau



Prof.ª Dra. Daniela Brondani

Coorientadora

UFSC - Blumenau



Prof.ª Dra. Fernanda Luiza de Faria

UFSC - Blumenau



Prof. Dr. Ismael Casagrande Bellettini

UFSC - Blumenau

## RESUMO

Muitos trabalhos reportam que a eletroquímica é um dos principais conteúdos de química, do ensino médio, que os estudantes demonstram dificuldades na aprendizagem, especialmente na compreensão das reações redox. Além disso, a grande maioria dos experimentos apresentados na literatura sobre eletroquímica abordam os temas: pilhas e baterias, reatividade e corrosão dos metais; assim, não exploram reações redox de moléculas orgânicas. Neste sentido, propõem-se trabalhar o tema “antioxidante”, o qual, além de pouco explorado em propostas para a construção do conhecimento sobre reações redox, possibilita trabalhar diversos outros conceitos. Este trabalho consiste no desenvolvimento de dispositivos redox portáteis e de baixo custo para serem aplicados no Ensino Médio, podendo colaborar para o ensino de eletroquímica, bem como contribuir para o interesse dos estudantes pela Química. Neste trabalho foi reproduzido o método clássico de detecção de vitamina C em microescala, e realizado o desenvolvimento e otimização de dispositivos redox de análise (qualitativo e semiquantitativo) construídos à base de papel filtro para a detecção de antioxidante (vitamina C) em amostras alimentícias. Por fim, foram propostos roteiros experimentais para a construção dos dispositivos de análise e um roteiro de aplicação envolvendo uma situação problema. Os dispositivos propostos mostraram ter grande potencial para a utilização nas aulas de química do Ensino Médio, pois não necessitam de infraestrutura de um laboratório, apresentam simples manuseio, os reagentes necessários possuem baixo custo e podem ser facilmente adquiridos no comércio. Além disso, utiliza-se uma pequena quantidade de reagentes, o que minimizam a quantidade de resíduos gerados nos experimentos.

**Palavras chave:** *Experimentação; Antioxidante; Lab-on-Paper; Dispositivo redox.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus pela vida;

Aos meus pais, meus exemplos de vida, Anor e Fabiana, pelo carinho, amor, confiança e conforto;

À minha irmã Daniele pela parceria e constante ajuda durante todos esses anos que esteve sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis;

À minha nona Aldina, que não está mais entre nós, pelo apoio e incentivo durante todos esses anos, sua lembrança me inspira e me faz persistir, sentirei muita saudade;

Aos meus nonos Neuclides e Nadir pelo constante apoio e incentivo;

A toda minha família, irmã Marcia, tias, tios, primos, primas, por todo carinho e atenção;

Aos meus Professores Dr. Eduardo Zapp e Dr.<sup>a</sup> Daniela Brondani pela orientação, paciência, incentivo e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho;

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em especial o campus Blumenau, e a todos os professores, especialmente àqueles que contribuíram para minha formação;

Aos professores da banca Dr.<sup>a</sup> Fernanda Luiza de Faria e Dr. Ismael Casagrande Bellettini por aceitarem contribuir nesse momento importante;

Ao Laboratório de Eletroquímica, Eletroanalítica e Sensores (LAEES) pelo espaço e materiais cedidos para a realização deste trabalho;

Aos meus amigos, colegas, ex-colegas, técnicos e servidores pelo incentivo na conclusão deste trabalho. Em especial a Ana, a Carla, a Eduarda, a Gabriela, a Giselly e a Sheila que dedicaram seu tempo para me ajudar a concluí-lo.

A todas as demais pessoas que direta ou indiretamente possibilitaram a realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representação esquemática da reação redox entre o ácido ascórbico e a solução de iodo complexada com o amido. ....	17
<b>Figura 2.</b> Esquema geral da fabricação de dispositivos de microfluídica em papel, aplicação dos reagentes indicadores nas “zonas de análise. ....	20
<b>Figura 3.</b> Representação esquemática do método de diluição por partes, em que as diluições iniciam com o estoque, e cada nova diluição emprega uma parte da solução anterior de iodo e uma parte de água. ....	22
<b>Figura 4.</b> Representação esquemática da titulação feita em microescala, utilizando uma micropipeta e microcubos. Utilizou-se 100 $\mu\text{L}$ de cada amostra para cada microtubo, juntamente com 100 $\mu\text{L}$ da solução de amido. Em seguida, realizou-se o processo de titulação com alíquotas de uma solução de iodo. ....	26
<b>Figura 5.</b> Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste qualitativo para antioxidante. ....	27
<b>Figura 6.</b> Representação dos dispositivos de análise no formato de “flor” para a realização do teste semiquantitativo para antioxidantes. A) Formato de 8 pétalas; B) Formato de 5 pétalas; C) Diferentes concentrações de iodo usadas em cada pétala. ....	28
<b>Figura 7.</b> Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste semiquantitativo para antioxidantes (onde <i>a-h</i> corresponde a diferentes concentrações de iodo e <i>x</i> o local de aplicação da amostra). ....	28
<b>Figura 8.</b> Representação do modelo para a construção de uma escala padrão de coloração, referente a concentrações das soluções de iodo (onde <i>a-h</i> corresponde a diferentes concentrações de iodo). ....	29
<b>Figura 9.</b> a) Consistência ideal da pasta de amido para a aplicação nas tiras de papel filtro, b) Representação da aplicação da pasta de amido no papel filtro e c) Papel filtro após a secagem da pasta de amido. ....	31
<b>Figura 10.</b> Dispositivos redox testados com diferentes concentrações de iodo. a) Concentração de iodo igual a 0,9 $\text{mmol L}^{-1}$ , b) Concentração de iodo igual a 0,4 $\text{mmol L}^{-1}$ , c) Concentração de iodo igual a 7,0 $\text{mmol L}^{-1}$ e d) Teste realizado com uma concentração muito baixa de antioxidantes (muito menores que 7,0 $\text{mmol L}^{-1}$ ). ....	32
<b>Figura 11.</b> Resultado do teste da avaliação da presença ou não de antioxidantes, após a imersão em amostra de: a) Padrão da tira b) Água por 15 min, c) Suco industrial de laranja, d) Extrato de pimentão, e) Suco de limão e f) Suco natural de laranja. ....	33

<b>Figura 12.</b> Moldes desenvolvidos para a impressão dos dispositivos semiquantitativos, com tamanhos diferentes. a) 7,7mm zona de análise e 12,2mm centro, b) 6,5mm e 10 mm c) 9mm e 14,5 mm e d) 6,5 mm e 10, 5 mm.....	34
<b>Figura 13.</b> Padrão de coloração de iodo obtido após a) Aplicação das soluções de iodo em ordem decrescente de concentração e b) Teste de equivalência das zonas de análise de iodo com as concentrações AA. ....	37
<b>Figura 14.</b> Teste para a avaliação do melhor volume das soluções de iodo a serem depositadas nas pétalas do dispositivo. a) Dispositivo construído com a variação do volume de 5 $\mu\text{L}$ , 10 $\mu\text{L}$ , 15 $\mu\text{L}$ e 20 $\mu\text{L}$ das soluções de iodo b) resultado após a aplicação de 100 $\mu\text{L}$ de AA (3,36 $\text{mmol L}^{-1}$ ). ....	38
<b>Figura 15.</b> Representação esquemática dos dispositivos depositados sobre a superfície de uma mesa e sobre uma placa de Petri para avaliar o efeito de vazamento do líquido para o meio externo ao dispositivo. ....	39
<b>Figura 16.</b> Padrões dos dispositivos de análise no formato de “flor”. a) Modelo de 5 pétalas; b) Modelo de 8 pétalas; c) Diferentes concentrações de iodo usadas em cada pétala. ....	39
<b>Figura 17.</b> Princípio de funcionamento do dispositivo flor redox tipo flor; a) concentração das soluções de depositadas nas zonas de análise, b) representação de um teste com uma amostra de AA com concentração definida c) resultado do teste, com a faixa de concentração determinada. ....	40
<b>Figura 18.</b> Teste de funcionamento do dispositivo redox tipo flor, a) Padrão do dispositivo redox tipo flor 8 pétalas com o resultado após a adição de 80 $\mu\text{L}$ das diluições de AA no centro e b) Padrão do dispositivo redox tipo flor 5 pétalas com o resultado após a adição de 100 $\mu\text{L}$ das diluições de AA no centro. ....	41
<b>Figura 19.</b> Resultado do teste de quantificação dos antioxidantes presentes nas amostras, com suas respectivas faixas de concentração detectadas pelo dispositivo semiquantitativo .....	42
<b>Figura 20.</b> Teste realizado com o dispositivo redox tipo flor 5 pétalas, com o dobro do volume das amostras de chá de hibisco e chá de orégano .....	43
<b>Figura 21.</b> Materiais que foram adaptados, para substituir a micropipeta, a) Seringa de insulina de 1 mL e b) Pipeta de Pasteur. ....	45
<b>Figura 22.</b> Dispositivos construídos com equipamentos alternativos e dispositivo construído com a micropipeta. ....	46
<b>Figura 23.</b> Teste com os dispositivos utilizando a diluição 3 de AA (3,6 $\text{mmol L}^{-1}$ ) para a verificação do funcionamento dos dispositivos alternativos. ....	46



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Alguns exemplos de antioxidantes presentes em alguns alimentos.....	17
<b>Tabela 2.</b> Sequência da diluição por partes realizada a partir da solução estoque de iodo, com os respectivos volumes utilizados e a concentração final das soluções obtidas. ....	22
<b>Tabela 3.</b> Relação das diluições feitas a partir da solução estoque de AA e suas concentrações finais. ....	23
<b>Tabela 4.</b> Sequência de diluição (por partes) a partir do lugol 2,0% para obtenção de soluções de diferentes concentrações. ....	25
<b>Tabela 5.</b> Concentrações de AA determinadas pelo método iodimétrico clássico (empregando microescala) em diferentes amostras. ....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Uma breve discussão sobre o ensino de química no ensino médio .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>A importância da experimentação e desenvolvimento de estratégias de ensino ...</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Antioxidante como um tema para o ensino de reações redox.....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>Laboratório de química em papel como alternativa de experimentação de baixo custo e fácil reprodução .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Desenvolvimento e otimização dos dispositivos.....</b>	<b>21</b>
4.1.1	Preparo de soluções e amostras .....	21
4.1.1.1	Preparo e padronização da solução estoque de iodo.....	24
4.1.1.2	Substituição da solução de iodo.....	24
4.1.2	Método volumétrico clássico para determinação de vitamina C .....	25
4.1.3	Dispositivos de análise em papel (qualitativos).....	26
4.1.4	Dispositivos de análise em papel (semiquantitativos) .....	27
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimento de roteiros para aplicação do experimento .....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Desenvolvimento e otimização dos dispositivos.....</b>	<b>29</b>
5.1.1	Método clássico para determinação de vitamina C .....	29
5.1.2	Desenvolvimento e otimização do dispositivo qualitativo .....	30
5.1.3	Construção do dispositivo semiquantitativo .....	34
<b>5.2</b>	<b>Adaptação dos materiais para a aplicação na escola.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3</b>	<b>Desenvolvimento dos roteiros .....</b>	<b>47</b>

5.3.1	Roteiros de construção dos dispositivos .....	47
5.3.2	Roteiro de aplicação dos dispositivos .....	48
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O ensino de química é baseado, em sua grande maioria, no sistema tradicional, que se dá através da exposição de teorias e no uso limitado de materiais didáticos, priorizando a transmissão e recepção de informações que estão diretamente ligadas à memorização. Neste sentido, o estudante é tratado como um mero ouvinte das informações que são expostas pelo professor (GUIMARÃES, 2009), sem uma participação ativa na construção do seu conhecimento.

Grande parte dos estudantes do ensino médio identificam os conteúdos da disciplina de química como desinteressantes, sem sentido e de difícil entendimento (LIRA *et al.*, 2016). Uma reflexão sobre essa disciplina indica a distância entre a formação de cidadãos conscientes e críticos com os currículos atuais. Assim, há a necessidade de se questionar como abordar esses conteúdos, para que os estudantes reconheçam a disciplina como algo atraente e importante para sua vida (MARCONDES, 2008).

Uma das principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem de química está em relacionar o conhecimento transmitido na sala de aula com o seu cotidiano. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN), para se superar o atual ensino praticado deve-se proporcionar o acesso aos conhecimentos químicos, como a visualização de um mundo mais articulado e menos fragmentado, de modo que contribua para que o indivíduo veja sua constante transformação com os conhecimentos estudados (BRASIL, 2002).

Neste contexto, a experimentação surge como uma alternativa para facilitar o processo de construção do conhecimento pelos estudantes, pois possibilita a relação com a teoria e fornece elementos importantes para uma aprendizagem mais significativa dos conteúdos trabalhados. As atividades experimentais podem criar um ambiente de curiosidade e investigação, pois podem estimular nos estudantes o questionamento, a busca por semelhanças e diferenças do que eles já conhecem, e a tentativa de formular explicações/hipóteses (AZEVEDO, 2018).

Além disso, a experimentação aumenta o contato dos estudantes com os fenômenos químicos, que possibilitam interpretações mais realistas e próximas do cotidiano. Como também estimula a aprendizagem sobre a natureza das substâncias envolvidas nas reações químicas observadas, sendo motivadora para a troca de opiniões e a procura de significados entre os estudantes, e entre eles com o docente (GIORDAN, 1999).

Porém, sabe-se que a experimentação ainda é muito pouco contemplada nas aulas de química, em especial da rede pública de ensino. Uma das justificativas para a não adoção das

práticas experimentais é que muitas escolas não apresentam infraestrutura adequada para as práticas laboratoriais. Além do mais, os educadores, na maioria das vezes, não possuem tempo para preparar aulas mais “atraentes”, que se distanciem de aulas tradicionais puramente teóricas. (GONÇALVES; MARQUES, 2006). Diante disso, há a necessidade do desenvolvimento de experimentos com materiais de baixo custo, fácil manipulação e que sejam acessíveis à realidade das escolas públicas brasileiras.

Muitos trabalhos reportam que a eletroquímica é um dos principais conteúdos da química do ensino médio em que os estudantes demonstram dificuldades na aprendizagem, sendo que os tópicos mais apontados contemplam as próprias reações de oxirredução (redox), caracterizadas pela perda (oxidação) e ganho (redução) de elétrons. Apesar desses processos estarem presentes no cotidiano, os estudantes demonstram dificuldades em associar o conceito de reações redox a esses fenômenos (em níveis macroscópico, microscópico e fenomenológico), bem como explicá-los (CAMEL; PACCA, 2011; MATOS *et al.*, 2013, LIMA; MARCONDES, 2005).

Em razão desta dificuldade dos estudantes, este trabalho visa desenvolver dispositivos analíticos de baixo custo com a finalidade de auxiliar em uma compreensão mais ampla das reações redox e a importância delas em nossa vida. Uma vez que a maioria dos experimentos desse conteúdo apresenta como temas: pilhas e baterias ou reatividade e corrosão dos metais (NOGUEIRA *et al.*, 2017), aqui propõem-se trabalhar o tema “antioxidante”. Esse tema, além de pouco explorado em propostas para a construção do conhecimento sobre reações redox, possibilita trabalhar diversos conceitos, tais como radicais livres, substâncias antioxidantes (e como elas atuam) e estrutura de compostos orgânicos, bem como contextualizá-los com aspectos da saúde humana, economia e meio ambiente (PITANGA, 2009).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver dispositivos em papel para análise qualitativa e semiquantitativa de antioxidante para aplicação em aulas de química no ensino médio.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Adaptar o método volumétrico clássico (iodimetria) para análise em microescala e aplicá-lo na quantificação de vitamina C em amostras de alimentos;

- Desenvolver e otimizar dispositivos em papel para análise qualitativa e semiquantitativa de antioxidante, e aplicá-los na detecção de vitamina C em amostras de alimentos;
- Comparar os resultados obtidos na análise de antioxidante em alimentos utilizando os dispositivos de análise semiquantitativos e o método iodimétrico em microescala;
- Investigar e adaptar materiais alternativos para a construção dos dispositivos de análise redox em papel para possível aplicação em escolas públicas;
- Propor roteiros experimentais para a construção dos dispositivos redox e a sua utilização nas aulas de química da educação básica (ensino médio).

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Uma breve discussão sobre o ensino de química no ensino médio**

Para Chassot (2003), durante o século passado, o ensino de ciências era centrado quase que exclusivamente na necessidade de fazer com que os estudantes adquirissem conhecimentos científicos através da transmissão dos conteúdos, pautado na memorização de teorias e processos científicos. Já hoje, não se pode mais aceitar propostas para um ensino de ciências que não incluam nos currículos componentes que estejam orientados na busca dos aspectos sociais e pessoais dos estudantes.

Nas escolas, a disciplina de química, geralmente, não está articulada com os aspectos sociais para a formação de cidadãos críticos frente a situações encontradas no dia a dia. A química é a ciência que estuda a composição, estrutura, propriedades da matéria, ou seja, inclui todo o mundo material que nos rodeia (ATKINS; JONES, 2012). O desenvolvimento desta ciência teve como base as observações de experimentos, sendo, portanto, considerada uma ciência experimental. Os currículos atuais, na maioria das vezes, enfatizam apenas aspectos conceituais da química, transformando a química escolar em algo completamente desvinculado de suas origens.

Existem diversos documentos que orientam o ensino de química, como por exemplo, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que propõem que o aprendizado de química deve possibilitar ao estudante a compreensão tanto dos processos químicos em si quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas (BRASIL, 2002). As Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) destacam o fato de que uma simples transmissão de informações não é suficiente para que os estudantes possam elaborar suas ideias de forma significativa. Esse documento orientador propõe a organização

dos conteúdos em “temas estruturadores”, que possibilitam o desenvolvimento de um conjunto de conhecimentos de forma articulada, em torno de um eixo central com objetos de estudo, conceitos, linguagens, habilidades e procedimentos próprios, tomando como foco de estudo, as transformações químicas que ocorrem nos processos naturais e tecnológicos (BRASIL 2002). Já as Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCN) enfatizam que a experimentação é uma das estratégias que podem ser trabalhadas durante as aulas. Uma vez que há uma série de experiências conhecidas nas quais os conteúdos químicos podem ser trabalhados pela contextualização, que explora a visão entre a teoria e a prática (BRASIL, 2006).

### **3.2 A importância da experimentação e desenvolvimento de estratégias de ensino**

Há mais de cem anos iniciaram-se os trabalhos experimentais nas escolas, tendo como princípio os experimentos que eram desenvolvidos nas universidades. Esses tinham o objetivo de melhorar a aprendizagem do conteúdo científico transmitido em sala de aula, pois os estudantes aprendiam os conteúdos, mas não sabiam aplicá-los. As atividades experimentais, quando utilizadas no ensino de química de modo vinculado às teorias, funcionam como instrumentos essenciais para promover a interação entre os estudantes e os conteúdos (GIORDAN, 1999; OLIVEIRA, 2010).

As atividades experimentais podem ser organizadas de diversas maneiras, desde estratégias que abordam a simples ilustração ou verificação de leis e teorias, até aquelas que estimulam a criatividade dos estudantes e proporcionam condições de reflexões para rever suas ideias acerca dos fenômenos científicos. As classificações variam de acordo com os objetivos de abordagem dos problemas, além das competências que pretendem ser atingidas e dos materiais e recursos que serão utilizados (OLIVEIRA, 2010).

As atividades experimentais podem ser classificadas em três tipos de abordagens ou modalidades, sendo elas: as atividades de demonstração, de verificação e de investigação (ARAÚJO; ABIB, 2003; OLIVEIRA, 2010).

As atividades de demonstração são atividades experimentais nas quais o professor executa o experimento enquanto os estudantes apenas observam os fenômenos ocorridos. São utilizadas para ilustrar alguns conteúdos abordados em aula, tornando-os mais compreensíveis aos estudantes. São recomendadas, principalmente, quando existem poucos recursos e materiais, que impossibilitam que vários grupos realizem o experimento. Também quando não se dispõe de um espaço apropriado para que todos os estudantes possam participar da execução

do experimento ou quando o professor dispõe de pouco tempo para a realização de experimentos, podendo incluí-los no contexto da aula expositiva (ARAÚJO; ABIB, 2003).

As atividades de verificação são caracterizadas pela maneira de conduzir o experimento, no qual são empregadas com o intuito de verificar ou confirmar alguma lei ou teoria. Os resultados dos experimentos são facilmente previsíveis e as explicações para os fenômenos geralmente são conhecidas pelos estudantes (ARAÚJO; ABIB, 2003).

As atividades de natureza de investigação possuem uma maior flexibilidade metodológica, quando comparada com as atividades de demonstração e de verificação. E o próprio caráter de investigação destas atividades pode ser considerado como um elemento facilitador para uma abordagem que seja centrada nos aspectos cognitivos do processo de ensino-aprendizagem, intrínsecos de uma metodologia que busca uma transformação mais profunda nos estudantes, seja ela vinculada aos aspectos conceituais, como a capacidade de reflexão, abstração, generalização, síntese e de senso crítico (ARAÚJO; ABIB, 2003).

### **3.3 Antioxidante como um tema para o ensino de reações redox**

As reações redox estão entre as reações químicas mais comuns e importantes, pois estão envolvidas em uma ampla variedade de processos macro- e microscópicos do nosso cotidiano, como, por exemplo, a formação de ferrugem, funcionamento de baterias, fotossíntese, respiração de animais e ação antioxidante (BROWN *et al.*, 2005). O estudo das reações de transferência de elétrons, de modo geral, é visto como um obstáculo na aprendizagem de química no ensino médio, pois muitos estudantes apresentam dificuldade na compreensão desse conteúdo, devido à forma que ele é trabalhado, bem como a falta de conexão com situações que deem significado para este estudo.

Muitos autores citam, que os docentes durante o ensino desse conteúdo não consideram a necessidade dos estudantes em aprender novas concepções de modo mais detalhado e exemplificado, traçando apenas explicações superficiais, que apontam terminologias confusas e que ignoram as concepções alternativas, trazendo problemas inadequados e pouco relacionados com aplicações do cotidiano. Isso acontece devido à dificuldade de, em alguns momentos, se estabelecerem analogias com fenômenos do mundo macroscópico, uma vez que o conhecimento das reações redox e da eletroquímica exige raciocínio mais elaborado. (BARRETO *et al.*, 2017; KLEIN; BRAIBANTE, 2017; SANJUAN *et al.*, 2009)

Diante disso, muitos estudos de revisão vêm sendo realizados quanto à identificação e mapeamento de trabalhos voltados para o ensino médio que abordam o conteúdo das reações



redox, empregando diferentes temáticas e estratégias de ensino. Nogueira e colaboradores (2017) realizaram um levantamento de resumos de trabalhos apresentados em eventos científicos brasileiros que relacionavam o ensino de reações redox entre os anos de 2000 a 2014. Destes resumos, mais da metade apresentavam práticas experimentais abordando os temas clássicos: pilhas, baterias e corrosão.

Em outra revisão bibliográfica, Klein e Braibante (2017) analisaram trabalhos que abordavam o conteúdo de reações redox publicados na revista Química Nova na Escola (QNEsc) entre os anos de 1999 a 2015. Para o levantamento dos trabalhos, os autores consideraram todos os artigos que apresentavam como proposta atividade experimental ou teórica, e qualificaram quanto à utilização de reações redox inorgânicas, reações orgânicas ou bioquímicas. De todos os artigos analisados, mais da metade trouxeram uma abordagem experimental explorando a teoria, e os demais artigos apresentaram uma abordagem puramente teórica. A maioria dos artigos apresentava como foco os compostos inorgânicos e, apenas uma pequena parte, relacionava-se a compostos orgânicos ou à bioquímica, e pouquíssimos exploravam os mecanismos envolvidos.

Por esta razão, observa-se a necessidade de buscar temas alternativos presentes no cotidiano dos estudantes que são pouco investigados para abordagem das reações redox. Além de propor novas estratégias que utilizem materiais alternativos e de baixo custo para a construção de instrumentos, é importante também a readequação de experimentos clássicos com materiais que são facilmente encontrados e a utilização de novas tecnologias que chamem atenção dos estudantes envolvidos.

Um assunto que vem sendo bastante investigado nos últimos anos refere-se as substâncias antioxidantes, com especial destaque para as indústrias farmacêutica e alimentícia. Os usos destas substâncias proporcionaram avanços na saúde, tanto no tratamento de patologias, como na prevenção do envelhecimento cutâneo causadas pela radiação ultravioleta, que envolve a geração de radicais livres que ocasionam alterações em reações naturais do organismo (GUARATINI *et al.*, 2007).

Um exemplo de aplicação na indústria alimentícia é a utilização de substâncias antioxidantes naturais ou sintéticas para a preservação de alimentos com óleos e gorduras, uma vez que a deterioração ocasiona odores e sabores rançosos. Essas características são causadas pela formação de produtos secundários indesejados, que diminuem a qualidade e a segurança nutricional dos alimentos ricos em gorduras (OLIVEIRA, 2009; RAMALHO; JORGE, 2006).

O consumo de frutas e hortaliças também tem importante papel na manutenção da saúde. Acredita-se que pelo menos parte do efeito benéfico de uma dieta rica em frutas e vegetais está

na variedade de antioxidantes naturais que podem funcionar como suplementos benéficos para o ser humano. Eles previnem os danos provocados pelos radicais livres, que são espécies cuja reatividade resulta da presença de um ou mais elétrons desemparelhados na estrutura atômica. Dessa forma as moléculas antioxidantes estabilizam os radicais livres, doando elétrons que lhes faltam, assim, impedem a ocorrência de danos nas biomoléculas (CERQUEIRA *et al.*, 2007).

Os antioxidantes podem ser classificados como sintéticos e naturais. Os sintéticos são produzidos em laboratórios/indústrias e, em sua maioria, pertencem ao grupo dos polifenóis (WANKENNE; FAN, 2015). Nos produtos processados em indústrias utilizam-se comumente antioxidantes sintéticos para conservação de alimentos, dentre os quais se destacam: butil-hidroxi-anisol (BHA), butil-hidroxitolueno (BHT), terc-butil-hidroquinona (TBHQ) e propilgalato (PG). Já os antioxidantes naturais podem ser oriundos do próprio organismo ou adquiridos de alimentos naturais, tais como temperos, chás, frutas, óleos e plantas aromáticas. Dentre os antioxidantes naturais, destacam-se os que possuem em suas estruturas grupos fenóis como, por exemplo, os flavonoides e os monoterpenos aromáticos, presentes em diversos alimentos, como se pode observar na Tabela 1. Os antioxidantes são moléculas que podem ser facilmente oxidadas, formando intermediários estáveis, e agem nos organismos por meio de diferentes mecanismos, dentre os quais se destaca o combate aos radicais livres (OLIVEIRA, 2009).

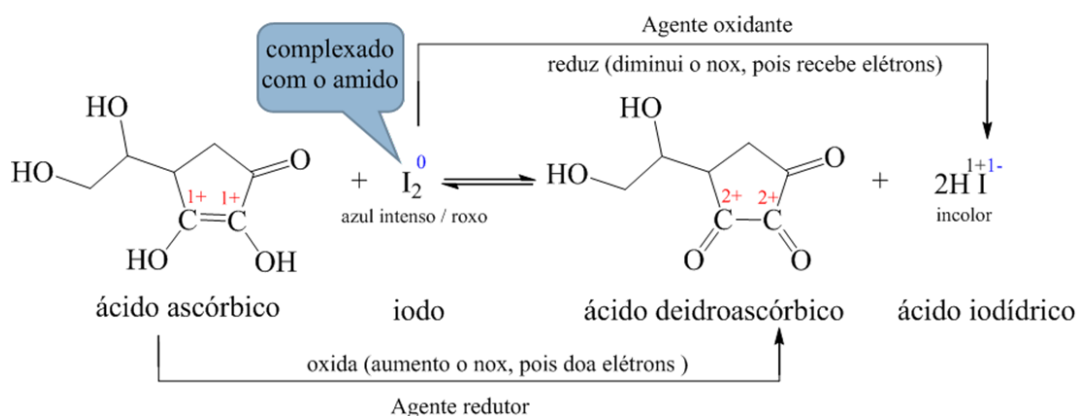
Recentemente, Luz e colaboradores (2017) publicaram um trabalho intitulado “Radicais livres e antioxidantes”, no qual empregaram a estratégia de intervenção didática com a utilização de experimento para facilitar o entendimento. Eles abordaram um experimento que consiste em estimar, comparativamente, a quantidade de vitamina C de amostras de sucos, empregando a titulação iodimétrica. Este experimento requer apenas materiais facilmente encontrados no comércio, tais como seringas plásticas (sem agulha), comprimido efervescente de vitamina C, solução de iodo 2% (vendidos em farmácias) e amido de milho. Neste trabalho, os autores utilizam uma analogia para as explicações, onde a solução de amido corresponderia às células do corpo, a tintura de iodo os radicais livres, enquanto a vitamina C representaria os antioxidantes. Assim, os radicais livres (tintura de iodo) atacam as células do corpo (solução de amido) danificando-as (ficando com a coloração azul-lilás), contudo, os antioxidantes, neste caso representado pela vitamina C, desempenham um papel importante, impedindo esses danos/lesões causados pelos radicais livres.

**Tabela 1.** Alguns exemplos de antioxidantes presentes em alguns alimentos

Alimento	Antioxidante	Alimento	Antioxidante
Mamão	$\beta$ -caroteno	Uva	Ácido elágico
Brócolis	Flavonoides	Salsa	Flavonóides
Laranja	Vitamina C	Morango	Vitamina C
Chá	Catequinas	Curry	Curcumina
Vinho	Quercetina	Noz	Polifenóis
Cenoura	$\beta$ -caroteno	Espinafre	Clorofilina
Tomate	Carotenoides	Repolho	Taninos
Cravo	Eugenol	Hortelã	Timol.
Orégano	Fenilpropanoides	Hibisco	Polifenóis

Fonte: Adaptado de BIANCHI; ANTUNES (1999).

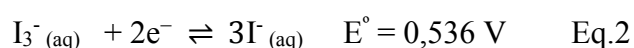
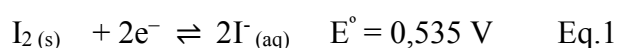
De modo geral, as atividades experimentais encontradas na literatura, consistem quase exclusivamente na determinação da vitamina C, deixando de lado outros antioxidantes existentes. Muitas vezes dão a impressão de que esse é único antioxidante presente na dieta e essencial para o organismo humano. Essa avaliação da ação antioxidante consiste em um experimento da reação redox representada na Figura 1, onde as amostras testadas, que apresentam vitamina C (ácido ascórbico), sofrem oxidação e atuam como um agente redutor da solução de iodo, que ao ser reduzido forma o ácido iodídrico. Também é adicionada à mistura uma suspensão de amido, que forma um complexo com as moléculas de iodo que apresenta coloração azul/roxo, sendo este usado como indicador visual do processo.

**Figura 1.** Representação esquemática da reação redox entre o ácido ascórbico e a solução de iodo complexada com o amido.

Fonte: a autora. (2019)

Vale destacar que em análise volumétrica, os métodos que envolvem a redução do iodo (método iodimétrico) ou a oxidação do íon iodeto (método iodométrico) são baseados na semirreação da Equação 1. Porém o iodo (I<sub>2</sub>) tem uma baixa solubilidade em água. Assim,

soluções de iodo são preparadas dissolvendo  $I_2$  em uma solução concentrada de iodeto de potássio, pois o íon triiodeto ( $I_3^-$ ) formado é altamente solúvel. A formação de  $I_3^-$  (Equação 2) não altera nem produz erros no método porque os potenciais padrões de redução das semirreações são praticamente iguais, por isso optou por representar  $I_2$  na Figura 1. Além disso, no decorrer do texto será usado o termo “solução de iodo” para simplificação (representando a solução de triiodeto). O ponto final na iodimetria, onde o titulante é o iodo ( $I_2$  ou  $I_3^-$ ) e o analito é um agente redutor, é detectado pelo aparecimento da cor azul intensa do complexo com o amido, usado como indicador (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 2001).



Uma suspensão aquosa de amido quando adicionada a uma solução que contenha traços de íon triiodeto, produz uma coloração azul intensa devido à adsorção do íon triiodeto pelas macromoléculas coloidais do amido. O amido é formado por dois constituintes: amilose ( $\beta$ -amilose) e a amilopectina ( $\alpha$ -amilose). A amilose forma um complexo de adsorção com o  $I_3^-$  de cor azul intensa e a amilopectina, de cor violácea, portanto a coloração varia de azul para roxo, dependente da contração do iodo no meio (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 2001). Nesse trabalho a coloração observada nos dispositivos foi roxa.

Sharpe e Andreescu (2015) apresentaram um experimento de investigação interativa, empregando sensores de papel filtro baseados em nanopartículas de cério usadas como indicadores colorimétricos de antioxidantes. As nanopartículas imobilizadas no papel exibiam alterações ópticas quando em contato com antioxidantes devido à formação de complexos. Esse experimento foi aplicado para estudantes do ensino básico e superior nos Estados Unidos (Nova York) onde foram testados sucos de diversas frutas, chás e café. Os autores utilizaram o experimento para trabalhar o conteúdo de reações redox, radicais livres e antioxidantes. Contudo, avaliando esta proposta detalhadamente, observou-se que, para a maioria das escolas públicas brasileiras, seria difícil reproduzir este experimento, pois os reagentes necessários para a produção das nanopartículas são de elevado custo e de difícil aquisição no comércio local. Por isso, há a necessidade de procurar metodologias alternativas, que utilizam reagentes de fácil aquisição.

### 3.4 Laboratório de química em papel como alternativa de experimentação de baixo custo e fácil reprodução

Nos últimos anos, pesquisas vêm sendo realizadas sobre a tecnologia conhecida como *Lab-on-Paper* (laboratório em papel), que consiste na construção de dispositivos de análise utilizando papel como substrato. Com um pequeno pedaço de papel é possível realizar diversas análises químicas, sem a necessidade da estrutura de um laboratório, apresenta simples manuseio, com baixo custo, utiliza uma pequena quantidade de reagentes e minimiza a quantidade de resíduos gerados (COSTA *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2016). Dispositivos de análise construídos à base de papel destacam-se por utilizar um material amplamente disponível e de baixo custo, facilmente impresso ou impregnado, maleável, biodegradável, hidrofílico e com estrutura porosa (que permite uma combinação de fluxo, filtração e separação) (POURREZA; GOLMOHAMMADI, 2015; XU *et al.*, 2016). Com os avanços no desenvolvimento de novos materiais e métodos de fabricação, o custo final de cada microdispositivo pode ser reduzido consideravelmente, o que viabiliza seu uso como dispositivo descartável (COLTRO *et al.*, 2007).

Os dispositivos de análise em papel podem ser divididos em várias categorias, entre elas destacam-se as duas mais populares: as tiras de teste (*test strips*) e os dispositivos baseados em microfluídica em papel ( $\mu$ PADs – *microfluidic paper-based devices*) (MARTINEZ *et al.*, 2010; MORBIOLI *et al.*, 2017). A tira de teste é a mais simples, pois se trata de uma tira à base de papel com reagente(s) pré-depositado(s), a qual é colocada em contato com uma amostra (e a coloração resultante é comparada com uma escala padrão de cor), como, por exemplo, as fitas para medidas de pH (MORBIOLI *et al.*, 2017).

A microfluídica em papel possibilita o desenvolvimento de sistemas miniaturizados de análises químicas e consiste na manipulação de líquidos em microcanais (WHITESIDES, 2006). A tecnologia microfluídica pode fornecer um excelente meio para ensinar aos estudantes alguns princípios básicos da química e mostrar a ampla aplicabilidade destes sistemas, envolvendo-os na construção e na aplicação (KOESDJOJO *et al.*, 2015; ESFAHANI *et al.*, 2016). A fabricação dos dispositivos de microfluídica em papel é geralmente executada em duas etapas principais, que consistem: 1) criação de barreiras hidrofóbicas no papel para obtenção de um caminho no qual o líquido irá percorrer até atingir a “zona de análise” e 2) na aplicação de reagentes indicadores nas “zonas de análise” (Figura 2) (BRONDANI *et al.*, 2019).

**Figura 2.** Esquema geral da fabricação de dispositivos de microfluídica em papel, aplicação dos reagentes indicadores nas “zonas de análise”.



Fonte: Adaptado de BRONDANI *et al.* (2019).

As barreiras hidrofóbicas podem ser criadas através de impressão a jato de tinta, caneta de marcação permanente, impressão à cera, desenho com lápis de cera (seguido de aquecimento), etc. (XU *et al.*, 2016). O transporte dos líquidos no papel se dará nos canais hidrofílicos (delimitados pelas barreiras hidrofóbicas) através de forças capilares, ou seja, os espaços entre as redes fibrosas do papel se comportam como tubos capilares, e, assim, o líquido irá se aderir às paredes destes tubos e será transportado até a zona de análise, sem a necessidade de uma força externa (LI *et al.*, 2012).

A colorimetria em  $\mu$ PADs é uma das metodologias mais simples, rápida e barata, pois os resultados das análises se dão através da cor indicada após contato com reagente (na zona de análise). Basicamente, o fluxo de amostra contendo o analito de interesse é dirigido até a zona de teste que contém o reagente colorimétrico, ocorrendo o desenvolvimento da cor devido à reação química entre o analito e o reagente. A imagem é então analisada quanto à intensidade ou inibição de coloração, que está relacionada com a concentração do analito na amostra (MARTINEZ *et al.*, 2007).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de dispositivos de análise em papel portátil e prático para avaliação da concentração de antioxidante em diferentes amostras alimentícias, em contraste ao método clássico (volumetria) e ao experimento proposto por Sharpe e Andreescu (2015), os quais utilizam grandes quantidades de reagentes e/ou não são muito acessíveis para realidade das escolas públicas brasileiras, de ensino básico.

## 4 METODOLOGIA

Neste trabalho foram desenvolvidos dispositivos em papel para análise qualitativa e semiquantitativa, empregando materiais de baixo custo e encontrados facilmente no dia a dia, para aplicação na detecção de antioxidante em amostras alimentícias. Os dispositivos desenvolvidos, juntamente com os roteiros de aula propostos, foram elaborados para serem utilizados em aulas experimentais de química para turmas do ensino médio.

Este trabalho está organizado em dois momentos. O primeiro momento foi composto pelo desenvolvimento e otimização dos dispositivos em papel, baseados no método clássico iodimétrico. Dois tipos de dispositivos foram propostos, um qualitativo e um semiquantitativo. O dispositivo qualitativo consiste em uma fita indicadora redox que responde positivamente ou negativamente frente à presença ou à ausência de antioxidante nas amostras. Uma vez estabelecido o teste qualitativo, desenvolveu-se um dispositivo para o teste semiquantitativo, o qual, além de identificar a presença, também indica a faixa de concentração de antioxidante presente nas amostras testadas.

O segundo momento consiste no desenvolvimento de materiais didáticos, constituídos por roteiros de aulas experimentais voltados para construção e aplicação dos dispositivos de análise, abordando os conteúdos de eletroquímica, com destaque para o tema “antioxidante”. Estes roteiros servirão para que professores e alunos possam reproduzir os dispositivos propostos neste trabalho e aplicá-los em análises de amostras alimentícias do seu interesse.

### 4.1 Desenvolvimento e otimização dos dispositivos

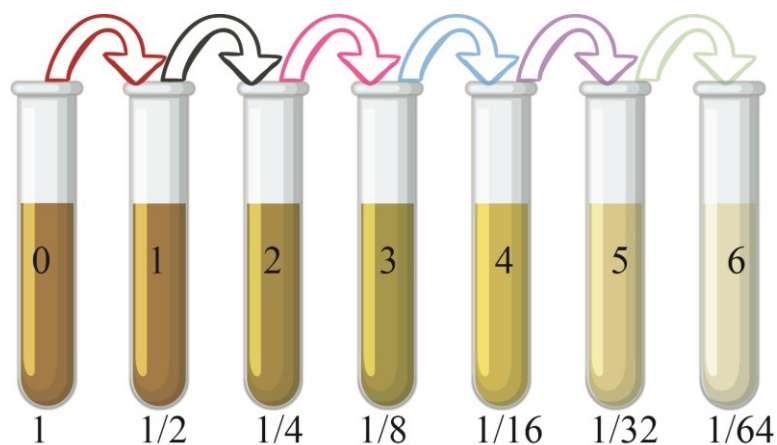
#### 4.1.1 Preparo de soluções e amostras

As amostras selecionadas para o desenvolvimento desse trabalho foram: suco natural de laranja, suco industrializado de laranja, suco natural de limão, chá de hibisco, chá de orégano, extrato de pimentão e extrato de brócolis e um comprimido efervescente de vitamina C. O preparo das amostras foi realizado da seguinte forma: os sucos de frutas (limão e laranja) foram extraídos e peneirados para evitar que as partículas suspensas interferissem na reação redox e visualização do ponto final das titulações. Já os extratos das verduras foram preparados por meio de trituração de 84,0 g de pimentão amarelo médio + 50 mL de água; 3 flores de brócolis (70,0 g) + 75 mL de água) em liquidificador e posteriormente filtrados. Os chás de orégano e hibisco foram preparados do modo tradicional (por infusão), misturando-se 1,2 g das respectivas flores/folhas secas em 100 mL de água quente (temperatura próxima de 100 °C), mantendo o béquer tampado com uma placa de Petri, por cerca de 15 min, sendo posteriormente

filtrado. O suco industrializado foi diluído (50% água e 50% de suco), e o comprimido efervescente de vitamina C (1,0 g) foi preparado em cerca de 1 L de água.

As soluções diluídas de iodo foram preparadas a partir de uma solução estoque padronizada (concentração de  $0,0282 \text{ mol L}^{-1}$ ). Foram realizadas 6 diluições pelo método das diluições por partes (ou diluição em série), onde para cada diluição adiciona-se uma parte da solução anterior (de maior concentração) de iodo e uma parte de água, conforme representação esquemática apresentada na Figura 3. A sequência de diluições está apresentada na Tabela 2, com os respectivos volumes utilizados e a concentração final das soluções de iodo obtidas. Os números das diluições (1, 2, 3, 4, 5 e 6) foram utilizados para identificar facilmente a concentração do iodo durante os testes da construção dos dispositivos.

**Figura 3.** Representação esquemática do método de diluição por partes, em que as diluições iniciam com o estoque, e cada nova diluição emprega uma parte da solução anterior de iodo e uma parte de água



Fonte: a autora (2019).

**Tabela 2.** Sequência da diluição por partes realizada a partir da solução estoque de iodo, com os respectivos volumes utilizados e a concentração final das soluções obtidas.

Número de diluições	Volumes (mL)		Concentração de iodo ( $\text{mmol L}^{-1}$ )
	Solução anterior	Água	
Estoque (0)	-	-	28,2
1	1	1	14,1
2	1	1	7,0
3	1	1	3,5
4	1	1	1,8
5	1	1	0,9
6	1	1	0,4

Fonte: a autora. (2019).



Na Tabela 2, as diluições foram escolhidas a partir da faixa de concentração de antioxidantes presentes nos alimentos selecionados, informada na literatura (cerca de 0,4 mmol L<sup>-1</sup> a 14,2 mmol L<sup>-1</sup>) (SILVA *et al.*, 1995; ANTONIALI *et al.*, 2009; CARLSEN *et al.*, 2010; SILVA, 2016). Portanto, a concentração para a primeira diluição seria de 14,2 mmol L<sup>-1</sup>. As diluições necessitaram de 1 parte de água e 1 parte da solução anterior. Vale lembrar que os testes foram em pequenas escalas, os volumes das partes variaram de 500 µL a 1000 µL, quando se pretende por exemplo aplicar o experimento com várias turmas, esse volume das partes podem ser aumentado facilmente, desde que as etapas sejam seguidas corretamente.

Para os testes de funcionamento dos dispositivos redox, inicialmente, foram utilizadas soluções padrões de ácido ascórbico (AA), preparadas a partir de reagente com alto grau de pureza. A solução estoque de AA foi preparada em um balão volumétrico de 5,0 mL usando uma massa de 12,5 mg de AA. A partir dessa solução estoque, foram feitas 5 diluições, como mostrados na Tabela 3. As diluições foram feitas pelo método das diluições por partes. Essa solução padrão de AA também serviu para aferir diariamente a concentração da solução de iodo utilizada para a construção do dispositivo redox. Na Tabela 3, as concentrações de AA foram apresentadas usando a unidade “mg por 100 mL”, devido à grande parte das informações de teores de vitamina C serem encontrados dessa forma na literatura e nas embalagens dos alimentos e fármacos.

**Tabela 3.** Relação das diluições feitas a partir da solução estoque de AA e suas concentrações finais.

Número de diluições	Volumes (mL)		Teor de AA	
	Solução anterior	Água	mmol L <sup>-1</sup>	mg 100 mL <sup>-1</sup>
1	-	-	14,2	250,0
2	0,5	0,5	7,1	125,0
3	0,5	0,5	3,6	63,4
4	0,5	0,5	1,8	31,7
5	0,5	0,5	0,9	15,9
6	0,5	0,5	0,4	7,0

Fonte: a autora. (2019).

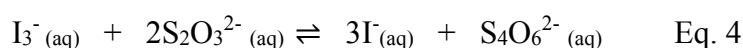
A mistura de amido e água foi preparada de duas formas diferentes, para adequação a sua posterior aplicação. Para o método clássico utilizou-se 10,0 mL de água e aproximadamente 1,0 g de amido de milho, deixada sob aquecimento até o início da ebulição, obtendo uma suspensão de amido. Para a construção dos dispositivos foi utilizada a pasta de amido, utilizando de 10,0 mL de água e aproximadamente 1,0 g de amido de milho, deixada sob aquecimento, em sistema aberto, por aproximadamente 30 min sob constante agitação

utilizando um bastão de vidro até que a solução apresentasse uma consistência de pasta (um pouco transparente).

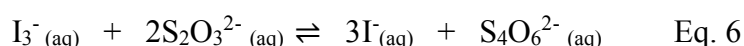
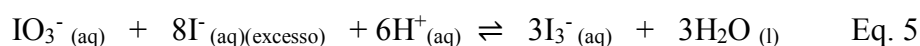
#### 4.1.1.1 Preparo e padronização da solução estoque de iodo

Uma solução de iodo (concentração aproximada de  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ ) foi preparada com uma massa conhecida de iodo sólido (1,00 g) e um excesso de iodeto de potássio (2,00 g), adicionando água aos poucos até completa solubilização dos reagentes (formação do triiodeto), e por fim foi adicionada água deionizada até o volume de 100,0 mL.

Esta solução estoque de iodo foi então padronizada por titulação de oxirredução, por um método direto (iodimetria) utilizando o tiosulfato (solução padronizada) como agente redutor do triiodeto (Eq. 4), e suspensão de amido como indicador (BACCAN, 2001). Para esta titulação, foi utilizado um volume conhecido da solução de tiosulfato (de concentração também conhecida), na presença de amido, e foram adicionados volumes da solução de iodo (triiodeto) até a visualização do ponto final indicado pelo aparecimento da coloração azul/roxa do complexo triiodeto-amido.



Para isso, inicialmente, foi necessário realizar a padronização da solução de tiosulfato por volumetria indireta (iodometria). Nesta titulação, o iodato de potássio foi empregado como padrão primário, em meio ácido, com excesso de iodeto de potássio, para a produção de íons triiodeto (Eq. 5); então, foi adicionada a solução de tiosulfato (a ser padronizada) até a visualização do ponto final (Eq. 6), indicado pelo desaparecimento da coloração do complexo triiodeto-amido (BACCAN, 2001).



#### 4.1.1.2 Substituição da solução de iodo

Caso não tenha disponível iodo e iodeto de potássio (ou sódio) no laboratório, pode ser utilizado o “lugol”, uma solução de iodo encontrada em farmácias, comercializado com a porcentagem de 2,0% (equivalente a  $77,4 \text{ mmol L}^{-1}$ ). Para a diluição do lugol, a única diferença está na primeira diluição, que ao invés de utilizar 1 parte da solução estoque e 1 parte de água,

deve-se utilizar 2 partes do lugol e 9 partes de água. A sequência de diluições est apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Sequência de diluição (por partes) a partir do lugol 2,0% para obtenção de soluções de diferentes concentrações.

Número de diluições	Volume (mL)		Concentração de iodo (mmol L <sup>-1</sup> )
	Solução anterior	Água	
Estoque (0)	-	-	77,4
1	2	9	14,1
2	1	1	7,0
3	1	1	3,5
4	1	1	1,8
5	1	1	0,9
6	1	1	0,4

Fonte: a autora. (2019).

#### 4.1.2 Método volumétrico clássico para determinação de vitamina C

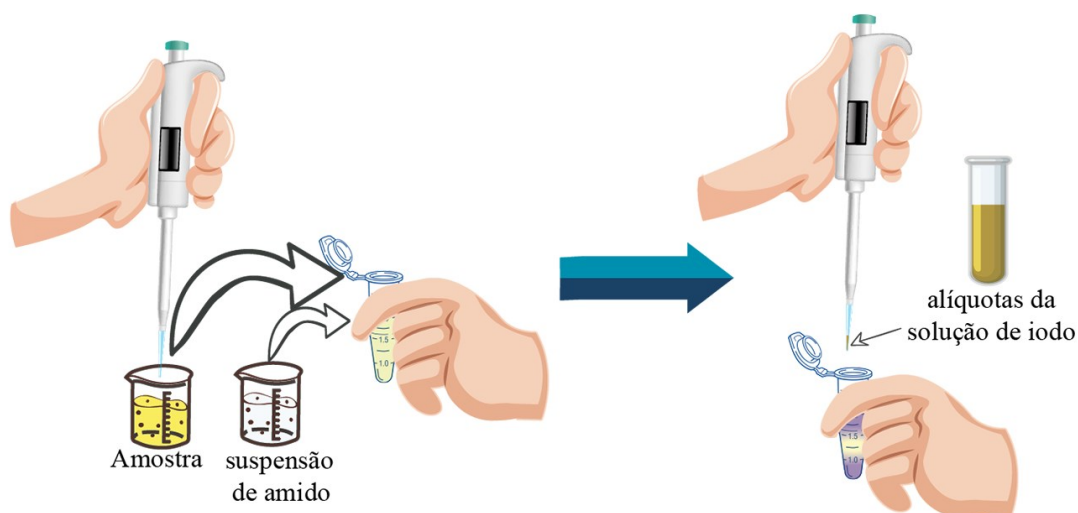
O método clássico para quantificar o teor de vitamina C (ácido ascórbico, AA) é a volumetria redox, empregando solução de triiodeto como titulante (iodimetria). Essa titulação foi utilizada para certificar-se que os dispositivos desenvolvidos responderiam para os teores de antioxidantes presentes nas amostras selecionadas, além de servir como método comparativo para avaliação dos dispositivos propostos.

Como supracitado, a solução de iodo foi utilizada como titulante de uma amostra contendo espécies antioxidantes e o amido como indicador. O amido complexa com o excesso de iodo, formando um composto colorido de coloração azul/roxa. Pode-se, então, determinar a concentração de AA, a partir do volume gasto de uma solução de iodo para atingir o ponto final da titulação (SILVA *et al.*, 1995; LUZ *et al.*, 2017).

Para esta análise, seguiu-se a proposta experimental descrita por Silva (1995), em escala reduzida. Os materiais, soluções e amostras empregados foram: solução de iodo, micropipeta, microtubos, amido de milho, água deionizada, sucos de frutas (limão natural e laranja natural e industrializado), chás (orégano e hibisco), extrato de verduras (pimentão e brócolis) e um comprimido efervescente de vitamina C. Todas as titulações foram feitas em microescala (Figura 4), visando à economia de reagentes e à redução da geração de resíduos; além disso, a construção dos dispositivos em papel semiquantitativos também utiliza volumes de solução de iodo na ordem de microlitros.

Para a determinação de AA nas amostras, transferiu-se 100  $\mu\text{L}$  de cada amostra para cada microtubo, juntamente com 100  $\mu\text{L}$  da solução de amido, e agitou-se. Em seguida, realizou-se o processo de titulação, transferindo-se pequenas alíquotas de uma solução de iodo (de concentração conhecida) com auxílio de uma micropipeta (1-10  $\mu\text{L}$ ), até a mudança da coloração para roxo, conforme representação esquematizada na Figura 4.

**Figura 4.** Representação esquemática da titulação feita em microescala, utilizando uma micropipeta e microcubos. Utilizou-se 100  $\mu\text{L}$  de cada amostra para cada microtubo, juntamente com 100  $\mu\text{L}$  da solução de amido. Em seguida, realizou-se o processo de titulação com alíquotas de uma solução de iodo.



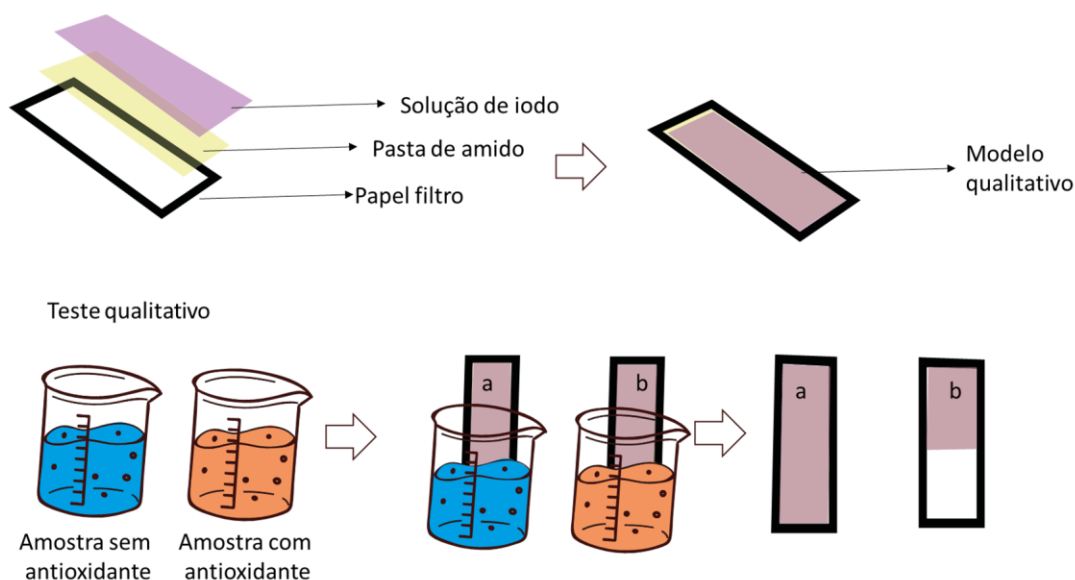
Fonte: a autora (2019).

Para portabilidade desta metodologia iodimétrica em plataforma de papel, procedeu-se a construção dos dois tipos de dispositivos anteriormente citados, sendo um qualitativo e um semiquantitativo.

#### 4.1.3 Dispositivos de análise em papel (qualitativos)

Construiu-se um dispositivo indicador redox à base de papel filtro, conforme modelo esquematizado na Figura 5. Os dispositivos foram construídos a partir de tiras de papel filtro (1,0 cm  $\times$  5,0 cm), sobre as quais a pasta de amido foi depositada. Posteriormente, estas tiras foram imersas em uma solução iodo, exibindo uma coloração roxa indicando a formação do complexo iodo-amido. Esse método foi empregado em testes para avaliar a presença ou não de antioxidante nas diferentes amostras selecionadas (suco de laranja, suco de limão, suco industrializado de laranja e extrato de pimentão amarelo).

**Figura 5.** Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste qualitativo para antioxidante.



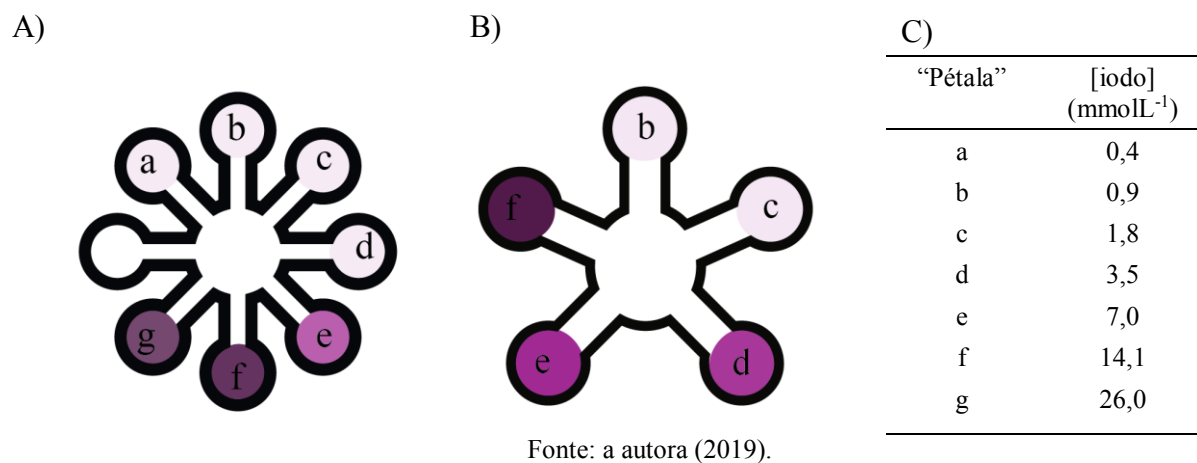
Fonte: a autora (2019).

#### 4.1.4 Dispositivos de análise em papel (semiquantitativos)

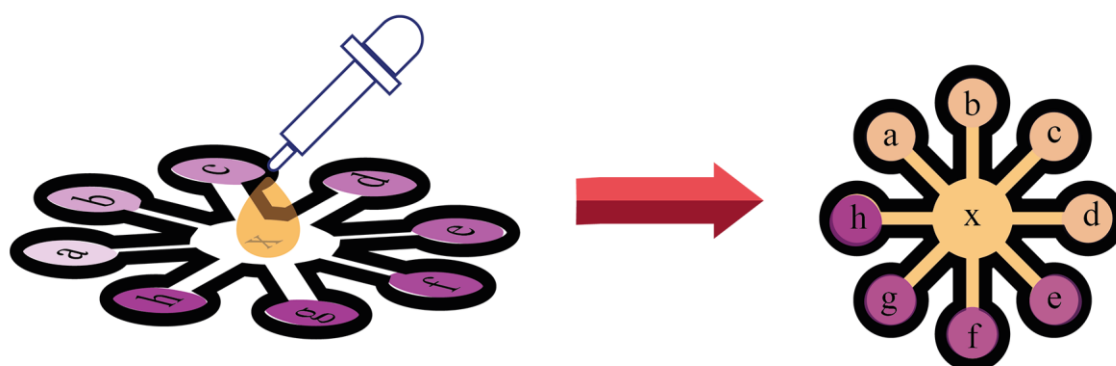
Após uma sequência de testes, foram desenvolvidas duas arquiteturas de dispositivos, ambos baseados no modelo de “flor”, conforme mostrado na Figura 6. O modelo de “flor” consiste na delimitação de um centro interligado a “pétalas”, com suas extremidades modificadas por um material indicador (neste caso, amido-iodo). As amostras líquidas, quando adicionadas no centro do dispositivo, fluem por capilaridade até o final da pétala, onde ocorre uma reação de identificação. No arranjo proposto, cada “pétala” recebeu uma concentração diferente de agente oxidante (iodo).

Os dispositivos foram construídos a partir de recortes de papel filtro (5,0 cm × 5,0 cm), onde foi desenhado o modelo (formato de “flor”) e os canais foram delimitados por um material hidrofóbico: giz de cera (Faber Castell®), caneta permanente (BIC® e Faber Casttel®), tinta de cartucho e tonner de impressão. Com a finalidade de direcionar o caminho percorrido pela amostra até o final da pétala (ponta indicadora). Essa ponta foi modificada com a pasta de amido e diferentes concentrações de iodo. A análise consistiu na adição da amostra no centro do dispositivo, indicado por “x” na Figura 7 e conforme a quantidade de compostos antioxidantes presentes na amostra houve uma maior ou menor inibição da coloração das zonas de análise, possibilitando a estimativa da faixa de concentração de antioxidante na amostra, o que evidencia um teste semiquantitativo.

**Figura 6.** Representação dos dispositivos de análise no formato de “flor” para a realização do teste semiquantitativo para antioxidantes. A) Formato de 8 pétalas; B) Formato de 5 pétalas; C) Diferentes concentrações de iodo usadas em cada pétala.



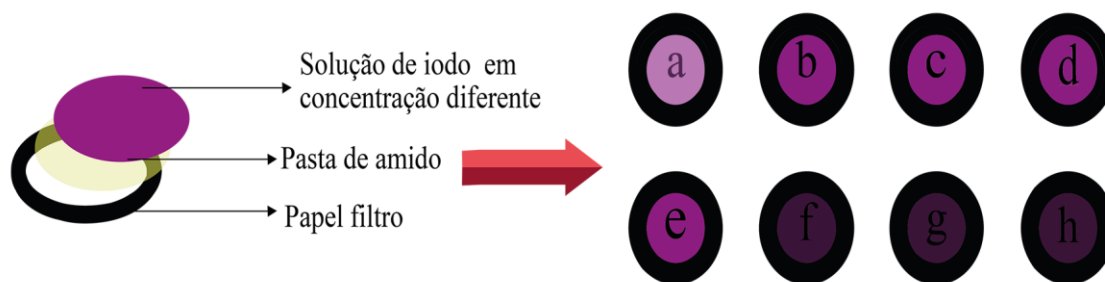
**Figura 7.** Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste semiquantitativo para antioxidantes (onde *a-h* corresponde a diferentes concentrações de iodo e *x* o local de aplicação da amostra).



Fonte: a autora (2019).

Foi construída uma escala padrão de coloração frente a diferentes concentrações das soluções de iodo, como mostrado na Figura 8. As circunferências das zonas de análise criadas para o padrão de coloração tinham 10 mm de diâmetro. Esta escala de coloração foi útil na otimização dos dispositivos de análise semiquantitativa, pois serviu como base de coloração e equivalência da concentração de iodo presentes nas pétalas dos dispositivos com a concentração de AA.

**Figura 8.** Representação do modelo para a construção de uma escala padrão de coloração, referente a concentrações da soluções de iodo (onde *a-h* corresponde a diferentes concentrações de iodo).



Fonte: a autora (2019).

## 4.2 Desenvolvimento de roteiros para aplicação do experimento

O desenvolvimento dos roteiros de orientação para a construção e uso dos dispositivos, estão voltados para que alunos e docentes possam reproduzi-los facilmente. Esses roteiros estão pautados em dois roteiros de construção dos dispositivos desenvolvidos nesse trabalho e um roteiro de aplicação dos dispositivos em aulas do ensino médio.

Os roteiros de construção estão divididos entre os dispositivos em papel desenvolvidos neste trabalho, sendo que um roteiro é para a construção do dispositivo qualitativo e um roteiro para a construção dos dispositivos semiquantitativos. Nesses está inserido uma introdução do que é o *lab-on-paper*, como também, as etapas de construção dos dispositivos e uma parte conceitual do princípio de funcionamento desses.

O roteiro de aplicação tem como proposta a utilização nas aulas de química da escola básica (ensino médio), empregando o dispositivo semiquantitativo e sua construção adaptada. Foram elaboradas duas versões deste roteiro, um destinado ao professor e outro ao estudante, com apresentação de uma situação problema e desenvolvimento do experimento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Desenvolvimento e otimização dos dispositivos

#### 5.1.1 Método clássico para determinação de vitamina C

Inicialmente, a metodologia clássica iodimétrica foi empregada em escala reduzida (microescala), para determinar a concentração de AA nas amostras previamente selecionadas. Esta etapa teve como finalidade obter resultados para comparar posteriormente com as metodologias propostas (dispositivos de análise em papel). As titulações foram realizadas em duplicata e as concentrações encontradas a partir do volume gasto de iodo estão listadas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Concentrações de AA determinadas pelo método iodimétrico clássico (empregando microescala) em diferentes amostras.

Amostra	Concentração de AA	
	mmol L <sup>-1</sup>	mg 100 mL <sup>-1</sup>
Laranja Lima	2,8 ± 0,3	49,3
Suco de Laranja industrializado	1,6 ± 0,2	28,2
Limão Thaiti	2,1 ± 0,4	37,0
Pimentão amarelo	6,8 ± 1,0	120,0
Brócolis	0,8 ± 0,1	14,1
Chá de orégano	0,4 ± 0,1	7,0
Chá de hibisco	0,3 ± 0,1	5,3
Solução do comprimido de Vitamina C	7,0 ± 0,1	123,3

Fonte: a autora (2019).

Cabe destacar que podem ser usadas outras amostras, conforme disponibilidade local e época do ano, tendo em vista que várias espécies de frutas, legumes e chás são ricos em espécies antioxidantes. As oito amostras de alimentos analisadas pelo método titulométrico foram também posteriormente analisadas com os dispositivos em papel, a fim de comprovar a funcionalidade das metodologias aqui propostas.

De acordo com a literatura, os chás e o extrato de brócolis possuem outras espécies antioxidantes (por exemplo, flavonoides e catequinas), que não especificamente o AA (utilizado como antioxidante padrão). A utilização do método volumétrico clássico e o dispositivo semiquantitativo permitiram determinar uma quantidade de antioxidante nestas amostras. Provavelmente essas outras espécies antioxidantes constituintes dessas amostras possuem um potencial menor que do iodo ( $E^{\circ} \text{I}_2/\text{I}^- = 0,535 \text{ V}$ ), as quais se oxidam e reduzem o iodo, o que pode ser evidenciado nas análises das amostras que indicaram a mudança da coloração, sendo possível a quantificação de antioxidantes nessas amostras.

### 5.1.2 Desenvolvimento e otimização do dispositivo qualitativo

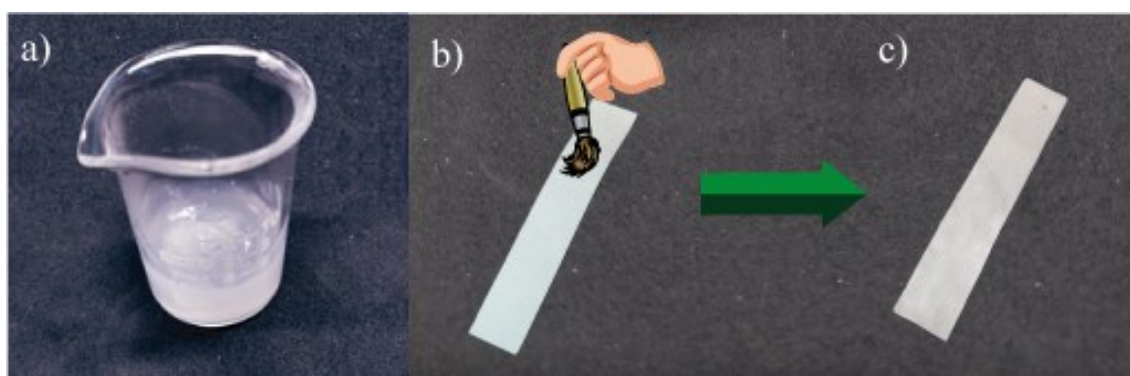
O desenvolvimento do dispositivo qualitativo (tiras de teste – *test strips*) iniciou pela escolha do seu tamanho e formato. Optou-se por cortar tiras de papel filtro com 1 cm de largura e 5 cm de comprimento pela praticidade de preparo e utilização. Além disso, este tamanho permite mergulhar facilmente estas tiras nos microtubos plásticos contendo solução de iodo. O tamanho da tira de papel pode ser adaptado conforme necessário, e dependendo do tamanho do recipiente que se deseje preparar/armazenar a solução de iodo.

Subsequentemente, estudou-se uma estratégia para impregnar o amido de milho nas tiras de papel filtro, de modo que a aplicação fosse fácil e que o indicador ficasse distribuído de



maneira homogênea sobre o papel. Então, a pasta de amido foi preparada minuciosamente, uma vez que, se não for bem preparada, quando pincelada no papel filtro e imerso em uma solução de iodo, a complexação não ocorre por completo, permitindo assim que o iodo evapore. Outro fator importante para a consistência ideal da pasta é manter o recipiente de preparo da pasta aberto durante o período de agitação, isto faz com que cerca de metade do volume inicial de água evapore, conforme mostrado na Figura 9-a. Após o preparo da pasta de amido, essa foi pincelada nos dois lados da tira de papel filtro (Figura 9-b) e a sua secagem durou cerca de 10 minutos. A coloração final do papel se manteve a mesma (Figura 9-c).

**Figura 9.** a) Consistência ideal da pasta de amido para a aplicação nas tiras de papel filtro, b) Representação da aplicação da pasta de amido no papel filtro e c) Papel filtro após a secagem da pasta de amido.



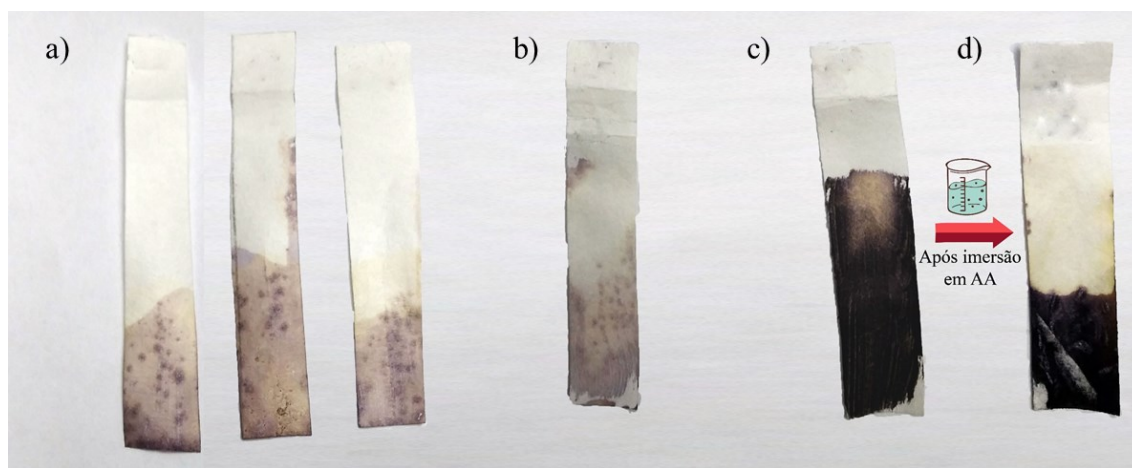
Fonte: a autora (2019).

Na sequência, estas tiras foram imersas rapidamente em uma solução de iodo com concentração de  $0,9 \text{ mmol L}^{-1}$ , e, portanto, a coloração final da tira de papel foi roxa, como mostrada na Figura 10-a, indicando a formação do complexo iodo-amido. Essa concentração de iodo foi selecionada a partir dos dados da Tabela 5, estabelecendo como quantidade mínima de amido a menor concentração de antioxidante ( $0,3 \text{ mmol L}^{-1}$ ) presente nas amostras testadas no método clássico, garantindo assim a total inibição da coloração do indicador. Entretanto, estes dispositivos (Figura 10-a) apresentaram manchas roxas de maior intensidade, evidenciando uma maior aglomeração de partículas de amido nesses locais. Contudo, foi observado que esse problema era minimizado, com o recobrimento uniforme da tira pela pasta de amido, por isso, destaca-se a importância do correto preparo da pasta e aplicação para que o amido fique uniformemente distribuído na superfície do papel.

Foram também testadas outras concentrações de iodo, sendo observado que em concentrações mais baixas a coloração final da plataforma foi muito pouco pronunciada (Figura 10-b), podendo ocasionar um erro na aplicação do dispositivo (similar ao erro associado ao indicador nas titulações tradicionais). Isso pode ser constatado na realização de um teste com

amostras contendo antioxidantes, nos quais a inibição da coloração do dispositivo não foi tão evidente. Já para concentrações maiores de iodo no dispositivo (Figura 10-c) a coloração final foi intensa, podendo também interferir no resultado de testes com amostras de baixa concentração de antioxidantes, não sendo possível observar a inibição da coloração do dispositivo (Figura 10-d).

**Figura 10.** Dispositivos redox testados com diferentes concentrações de iodo. a) Concentração de iodo igual a  $0,9 \text{ mmol L}^{-1}$ , b) Concentração de iodo igual a  $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ , c) Concentração de iodo igual a  $7,0 \text{ mmol L}^{-1}$  e d) Teste realizado com uma concentração muito baixa de antioxidante (menores que  $7,0 \text{ mmol L}^{-1}$ ).



Fonte: a autora (2019).

Esse dispositivo foi então nomeado como “dispositivo redox tipo fita”. O funcionamento do mesmo se dá da seguinte forma: quando o dispositivo de coloração roxa (complexo iodo-amido) é imerso em amostras que contêm espécies antioxidantes, as moléculas de iodo são reduzidas para ácido iodídrico (conforme Figura 1), dissociando o complexo iodo-amido e, conseqüentemente, reduzindo ou eliminando a coloração roxa (chamamos aqui de “inibição” da coloração). Este tipo de dispositivo responde à presença das espécies e não indica uma quantidade, caracterizando-se como um teste qualitativo.

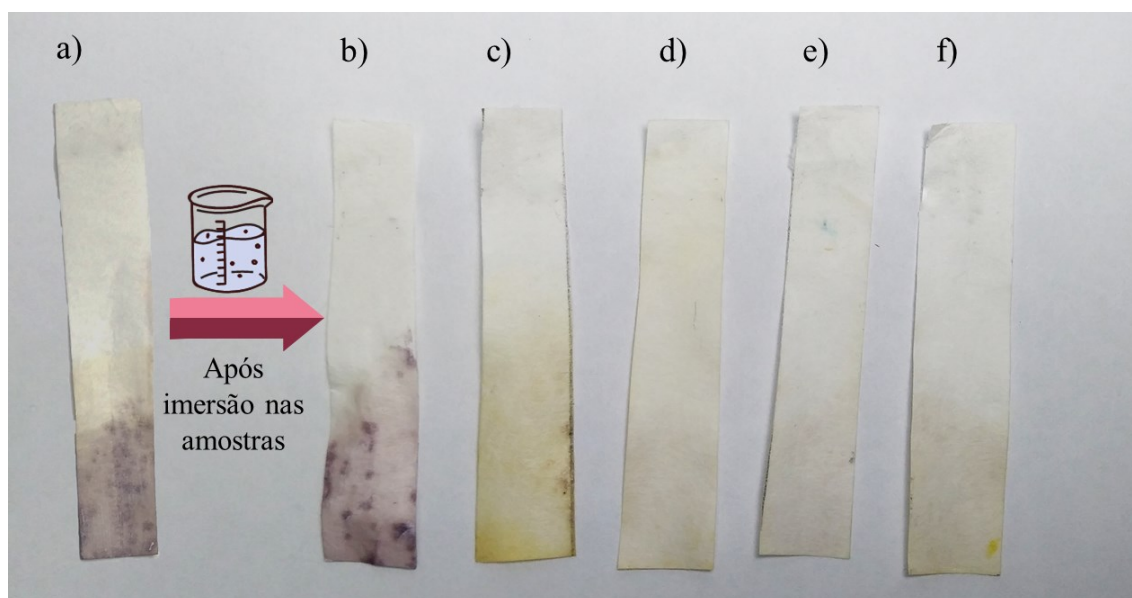
Os testes de funcionamento deste dispositivo redox inicialmente foram realizadas empregando soluções de (AA) (conforme apresentado na Tabela 3), visto que essas soluções padrões teriam uma quantidade conhecida de moléculas de AA em um determinado volume, sendo mais adequado do que iniciar os testes com amostras que poderiam ter concentrações não conhecidas de AA.

A concentração de iodo presente no dispositivo redox era equivalente a 5ª diluição da solução de AA ( $0,9 \text{ mmol L}^{-1}$ ) apresentada na Tabela 3. Então, os testes foram realizados com a imersão das tiras nestas soluções, e observou-se a inibição total da coloração. Os dispositivos também foram testados para a solução de AA obtida na 6ª diluição ( $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ ) apresentada

na Tabela 3, que possuía uma menor concentração comparada à concentração de iodo da tira. Da mesma forma, após alguns instantes, o AA reagiu com o complexo amido-iodo, o que também provocou a inibição completa da coloração. Isto já era esperado, pois o volume de amostra era superior ao volume de solução de iodo utilizado na produção das tiras redox, ou seja, em 1,5 mL de solução de AA havia  $6,0 \times 10^{-7}$  mols de AA e em ~0,200 mL de iodo (impregnado na tira) havia  $1,8 \times 10^{-7}$  mols de  $I_2$ .

Posteriormente, os dispositivos redox foram testados frente às amostras selecionadas (suco de laranja, suco de limão, suco industrializado de laranja, extrato de pimentão e água) para avaliação da presença ou não de antioxidantes. As imagens dos dispositivos após os testes são mostradas na Figura 11.

**Figura 11.** Resultado do teste da avaliação da presença ou não de antioxidantes, após a imersão em amostra de: a) Padrão da tira b) Água por 15 min, c) Suco industrializado de laranja, d) Extrato de pimentão, e) Suco de limão e f) Suco natural de laranja.



Fonte: a autora (2019).

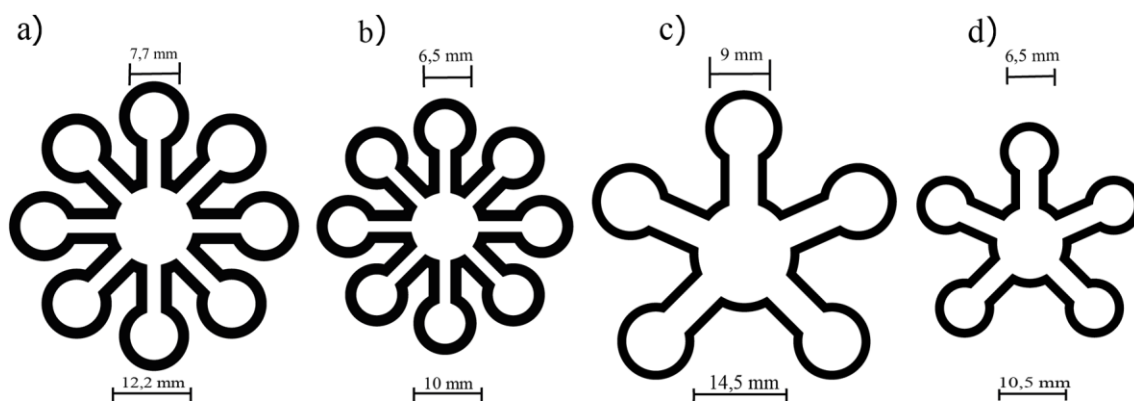
Conforme esperado, o teste com o dispositivo redox em água por 15 min (Figura 11-a) não obteve inibição da sua coloração, podendo então certificar que a plataforma responde apenas para espécies antioxidantes. Os testes com amostras de suco industrializado de laranja (Figura 11-c), extrato de pimentão (Figura 11-d), suco de limão (Figura 11-e) e suco natural de laranja (Figura 11- f), indicaram a presença de AA comprovando o adequado funcionamento do dispositivo. Entende-se também que os dispositivos responderam igualmente para todas as amostras, independente do teor de antioxidantes presentes, pois trata-se de uma metodologia qualitativa.

### 5.1.3 Construção do dispositivo semiquantitativo

A detecção semiquantitativa baseou-se nos dispositivos colorimétricos empregando microfluídica em papel ( $\mu$ PADs) (BUSA *et al.*, 2016). Como já mencionado anteriormente a fabricação de sistemas microfluídicos em papel é geralmente executada em duas etapas principais, que consistem: 1) criação de barreiras hidrofóbicas no papel para obtenção de um caminho no qual o líquido irá percorrer até atingir a “zona de análise” e 2) na aplicação de reagentes indicadores nas “zonas de análise”.

Para o desenvolvimento e otimização desses dispositivos de análise, foram realizados diversos testes. Primeiramente, a escolha da arquitetura dos dispositivos foi baseada nos diferentes protótipos reportados na literatura (BUSA *et al.*, 2016.). A partir destes protótipos foram adaptados 2 modelos de dispositivos, que foram desenhados com auxílio do programa Adobe Illustrator ® (versão disponível no terminal acadêmico, área remota UFSC), para confecção de dispositivos de dois tamanhos diferentes (Figura 12). As escolhas do número de zonas de análises (“pétalas”) foram feitas com base na faixa de concentração de antioxidantes presentes nas amostras selecionadas. A primeira arquitetura proposta possui 8 pétalas com 7 concentrações de iodo (Figura 12-a e 12-b), já a segunda arquitetura apresenta 5 zonas e 5 concentrações de iodo (Figura 12-c e 12-d). A diferença das arquiteturas está nas concentrações depositadas de iodo para a detecção de antioxidantes. Com a primeira arquitetura, foi possível detectar concentrações de antioxidantes mais baixas, sendo útil para determinações nas amostras de chás. Já para a segunda arquitetura, a faixa foi proporcional às concentrações mais comumente encontradas nos alimentos selecionados (de 15,9 a 250,0 mg/ 100 mL de AA), além da sua construção ser mais fácil, pois é necessário um menor número de soluções de iodo.

**Figura 12.** Moldes desenvolvidos para a impressão dos dispositivos semiquantitativos, com tamanhos diferentes. a) 7,7mm zona de análise e 12,2mm centro, b) 6,5mm e 10 mm c) 9mm e 14,5 mm e d) 6,5 mm e 10,5 mm



Fonte: a autora (2019).

Para a padronização e facilitação da construção dos dispositivos, realizou-se a impressão dos moldes diretamente nas folhas de papel filtro (cortada em tamanho A4), utilizando impressora com tonner (tinta em pó) e jato de tinta (tinta líquida). Nos dois casos, a “tinta” da impressão não gerou uma barreira hidrofóbica no papel que limitasse os caminhos predefinidos para a amostra fluir. Os moldes também podem ser impressos em folhas sulfite e transcritos para o papel filtro, quando não se tem papel filtro nos tamanhos apropriados para utilizar em impressoras. Mas recomenda-se que seus tamanhos sejam próximos dos descritos na Figura 12, pois a variação do tamanho do molde pode acarretar em erro muito grande durante os testes de quantificação.

Na sequência, realizaram-se testes para a determinação dos volumes de amostra mais adequados para aplicação nos dispositivos. Inicialmente, utilizou-se água para simular as amostras líquidas e uma micropipeta para a medição dos volumes. Gotejou-se diferentes volumes de água no centro do dispositivos, observando se a água migrava por capilaridade até o fim das zonas de análise. Os resultados obtidos permitiram definir um volume aproximado de amostra a ser empregado para cada modelo: 80  $\mu\text{L}$  no dispositivos exposto na Figura 12-a, 70  $\mu\text{L}$  do modelo mostrando na Figura 12-b, 100  $\mu\text{L}$  do modelo inserido na Figura 12-c e 50  $\mu\text{L}$  para o modelo da Figura 12-d. Os tamanhos selecionados para os testes de otimização da construção dos dispositivos foram os modelos expostos na Figura 12-a e 12-c, pois como se pretendia adaptar a construção do dispositivo com materiais que poderiam ser facilmente encontrados no dia a dia e de baixo custo, os demais dispositivos foram descartados pois para a construção o volume a ser utilizado inviabilizaria adaptação do sistema.

A criação da barreira hidrofóbica no papel para a obtenção de um caminho no qual o líquido deve percorrer até a “zona de análise”, se deu testando dois materiais: o pincel marcador permanente e lápis de cera. O teste realizado com os pincéis marcadores, tanto da marca BIC® – ultra fino-0,6 mm e Faber Castell® – CD marker-1,0mm, foi efetivo para a demarcação, porém não se mostrou tão hidrofóbico, onde um pouco da tinta, após a adição da água, migrou para o caminho. Foi observado também que a água fluiu para além da demarcação da tinta permanente no papel, podendo ser perdido um pouco de volume aplicado no centro até o final da pétala.

O contorno feito com lápis de cera (Faber-Castell®) sem aquecimento, não conferiu significativa hidrofobicidade para o papel, pois a cera não penetrou na fibra do papel. Portanto, após a pintura do papel em apenas uma face, seguida de aquecimento por aproximadamente 15 min com um secador de cabelos ou com auxílio de uma estufa (60 °C) a cera penetrou na fibra

do papel e criou uma barreira hidrofóbica no dispositivo. Esta etapa requer atenção especial, pois o aquecimento em excesso pode causar a invasão da cera para dentro do caminho hidrofílico, e se forem recobertas ambas as faces do papel, o mesmo problema é observado. Portanto, a pintura com o lápis de cera deve ser realizada fora da demarcação da impressão, assim não ocorre a invasão da cera no caminho hidrofílico. O lápis de cera amarelo teve uma maior uniformidade no recobrimento sendo escolhido para a realização da maioria dos testes, pois também apresentou uma coloração significativa, que não dificultou a visualização da coloração das zonas de análise. As outras colorações também apresentaram permeação no papel e criaram a hidrofobicidade e podem ser utilizados para a construção dos dispositivos, com exceção do giz de cera branco, pois não foi possível identificar visualmente o local delimitado.

Após a criação da barreira hidrofóbica no papel, realizou-se a aplicação de reagentes indicadores nas “zonas de análise”. Como já mencionado, para que a solução de iodo permanecesse no papel, a pasta de amido (a mesma descrita no dispositivo redox tipo fita) foi pincelada igualmente em todas as zonas de análise do dispositivo e a sua secagem durou cerca de 10 minutos, nesta etapa a coloração final do papel se manteve a mesma.

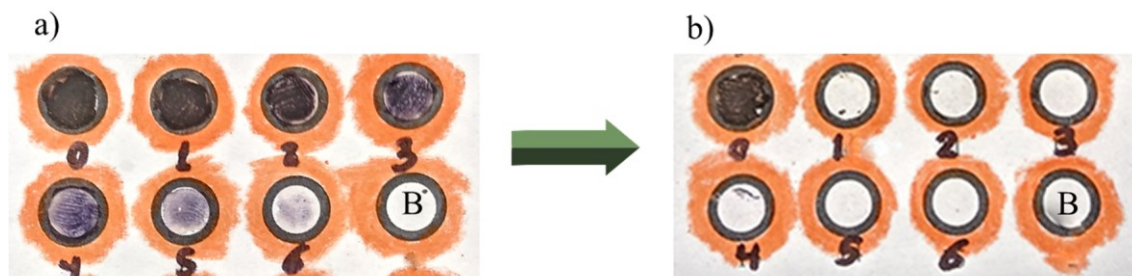
Para aplicação do iodo nas zonas de análise, inicialmente comparou-se as concentrações equivalentes aos teores de antioxidantes mais encontradas nos alimentos, encontrando-se uma faixa de valores entre  $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$  a  $14,2 \text{ mmol L}^{-1}$  (Diluições mostradas na Tabela 3).

Antes da adição das soluções de iodo nas pétalas do dispositivo, foi criada uma escala de padrão de coloração em função da concentração de iodo, como se pode observar na Figura 13-a. Esta escala foi importante para comparar a intensidade da cor característica do complexo do iodo com amido no papel filtro. Com a escala padrão de coloração, também foi possível realizar o teste com as concentrações equivalentes de AA, caso houvesse uma inibição total na coloração das zonas de análise, este fato evidenciaria que o método proposto estaria funcionando. Foi realizado o mesmo processo para a criação de regiões com diferente hidrofobicidade, empregando lápis de cera, e a aplicação da pasta de amido nas zonas de análise, conforme descrito anteriormente na construção do dispositivo. Nas zonas de análise, gotejou-se  $10 \mu\text{L}$  de iodo na ordem das diluições realizadas na Tabela 2, variando-se da mais concentrada para o menos concentrada, sendo possível observar a diminuição da intensidade da coloração, conforme a diminuição da concentração de cada solução (Figura 13-a).

Após a construção da escala padrão de coloração, realizou-se o teste de equivalência, que consiste na demonstração do ponto estequiométrico, no qual a quantidade depositada de iodo nas zonas de análise deva ser igual à quantidade de AA testada, evidenciado pela inibição da coloração das zonas de análise. Foram então gotejados  $10 \mu\text{L}$  das soluções de AA (diluições

descritas na Tabela 3) equivalentes para cada zona de análise do padrão da coloração. Por exemplo, na zona 1 que continha a diluição 1 da solução de iodo complexado com amido ( $14,1 \text{ mmol L}^{-1}$ ), foi gotejada a diluição 1 de AA ( $14,2 \text{ mmol L}^{-1}$ ), o resultado desse teste é mostrado na Figura 13-b.

**Figura 13.** Padrão de coloração de iodo obtido após a) Aplicação das soluções de iodo em ordem decrescente de concentração e b) Teste de equivalência das zonas de análise de iodo com as concentrações AA.



Fonte: a autora (2019).

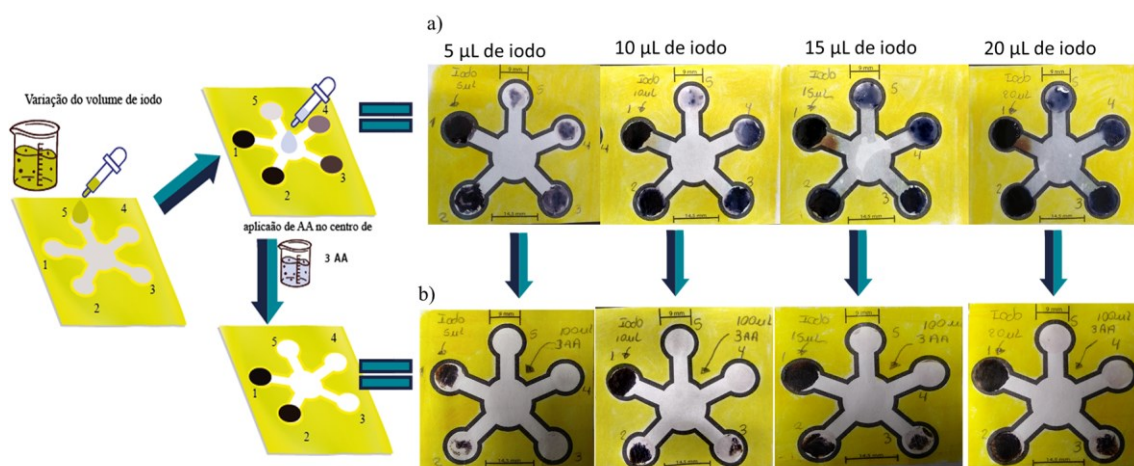
Como esperado, com a exceção da zona 0, houve completa inibição da coloração das zonas de análise. Nesta zona de análise foi testada a solução de AA com concentração de  $14,2 \text{ mmol L}^{-1}$ , sendo inferior a solução de iodo ( $28,0 \text{ mmol L}^{-1}$ ) depositada nesta zona. O resultado do teste (Figura 13-b) demonstrou que ao ser depositado uma concentração equivalente de AA, houve a inibição da coloração das zonas de análise, evidenciando que todo o iodo complexado com o amido foi consumido, uma vez que o iodo reduzido para ácido iodídrico não possui nenhuma coloração (conforme esquema da Figura 1).

Um outro teste foi realizado para certificar que o iodo depositado na zona de análise estivesse completamente complexado com a pasta de amido presente. Foi então depositado nas zonas de análise a mesma solução de iodo com concentração igual a  $28,0 \text{ mmol L}^{-1}$ , e na sequência foram gotejadas soluções de AA (diluições de 1 à 6, conforme Tabela 3), não sendo observado a inibição completa da coloração do indicador nas zonas de análise. Em algumas zonas de análise, observou-se a inibição parcial da coloração. Portanto, confirmou-se que a concentração de iodo adicionada na zona de análise complexa completamente com o amido depositado sobre o papel, sem perda apreciável de iodo por evaporação.

A otimização dos volumes das soluções de iodo depositadas nas pétalas dos dispositivos de análise ocorreram da seguinte forma: para os dois dispositivos, os volumes testados das soluções de iodo foram de  $5 \mu\text{L}$ ,  $10 \mu\text{L}$ ,  $15 \mu\text{L}$  e  $20 \mu\text{L}$ , respectivamente. Após a secagem das zonas de análise adicionou-se  $100 \mu\text{L}$  de AA no modelo de 5 pétalas com concentração igual a  $3,6 \text{ mmol L}^{-1}$  (diluição 3 da Tabela 3), sendo equivalente a solução de iodo 3 ( $3,5 \text{ mmol L}^{-1}$ )

depositada nos dispositivos. No modelo de 8 pétalas foi depositado 80  $\mu\text{L}$  de AA com a mesma concentração (diluição 3 da Tabela 3). Para os dois modelos, ambos tiveram o mesmo comportamento tanto na deposição de iodo quanto após a adição da solução AA, sendo então apresentado apenas os resultados do modelo de 5 pétalas na Figura 14.

**Figura 14.** Teste para a avaliação do melhor volume das soluções de iodo a serem depositadas nas pétalas do dispositivo. a) Dispositivo construído com a variação do volume de 5  $\mu\text{L}$ , 10  $\mu\text{L}$ , 15  $\mu\text{L}$  e 20  $\mu\text{L}$  das soluções de iodo b) resultado após a aplicação de 100  $\mu\text{L}$  de AA (3,36  $\text{mmol L}^{-1}$ ).



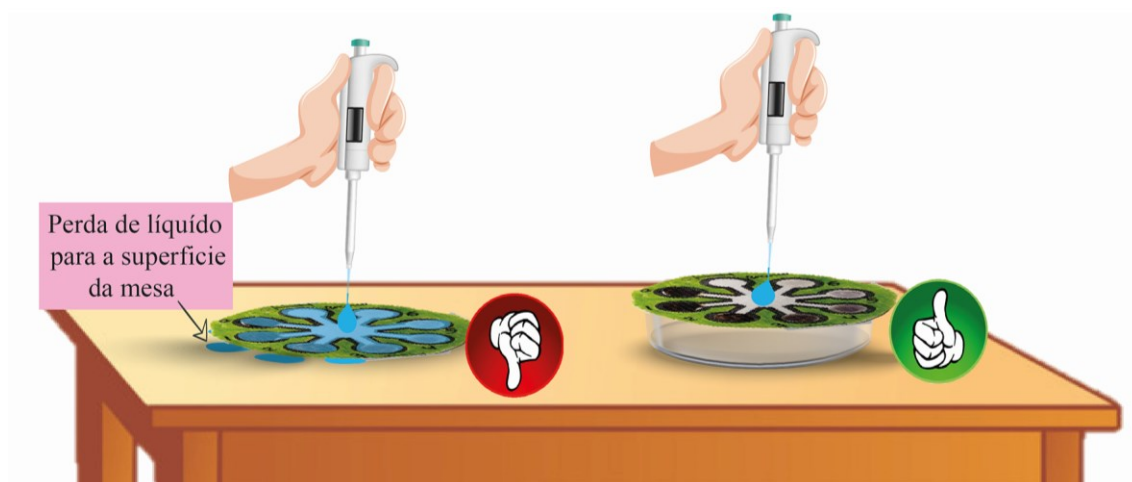
Fonte: a autora (2019).

Para construção do dispositivo o volume selecionado foi de 5  $\mu\text{L}$  das soluções de iodo. Após a adição da solução de AA, constatou-se que a adição de volumes maiores de iodo não levaram a inibição por completo da pétala 3. Portanto, para o bom funcionamento do dispositivo, deve-se controlar o volume adicionado das soluções de iodo.

Outro fator importante para a construção do dispositivo é deixá-los suspensos, sem que haja um contato direto entre o caminho microfluídico e a superfície de uma mesa ou bancada, pois quando é adicionado, por exemplo as soluções de iodo, nas pétalas ocorre um vazamento da zona de análise para o meio externo. Para tanto, todos os dispositivos foram depositados em cima de uma placa de Petri, cuidando para que o canal microfluídico não ficasse apoiado nas bordas do vidro, esquema mostrado na Figura 15.



**Figura 15.** Representação esquemática dos dispositivos depositados sobre a superfície de uma mesa e sobre uma placa de Petri para avaliar o efeito de vazamento do líquido para o meio externo ao dispositivo.



Fonte: a autora (2019).

Os padrões de coloração dos dispositivos construídos são mostrados na Figura 16-a (modelo de 5 pétalas) e na Figura 16-b (modelo de 8 pétalas). A aplicação do iodo nas zonas de análise ocorreu após a secagem do amido depositado nelas, onde com o auxílio de uma micropipeta foi depositado delicadamente  $5\mu\text{L}$  das soluções diluídas de iodo, diluições de 1 a 5, para o modelo de 5 pétalas, e todas as diluições de iodo para o modelo de 8 pétalas (mostradas na Tabela 2), as concentrações depositadas nos modelos são apresentadas na Figura 14-c.

**Figura 16.** Padrões dos dispositivos de análise no formato de “flor”. a) Modelo de 5 pétalas; b) Modelo de 8 pétalas; c) Diferentes concentrações de iodo usadas em cada pétala.

a)



b)



c)

“Pétala”	[iodo] ( $\text{mmol L}^{-1}$ )
Branco*	-
0 (estoque)	28,2
1	14,1
2	7,0
3	3,5
4	1,8
5	0,9
6	0,4

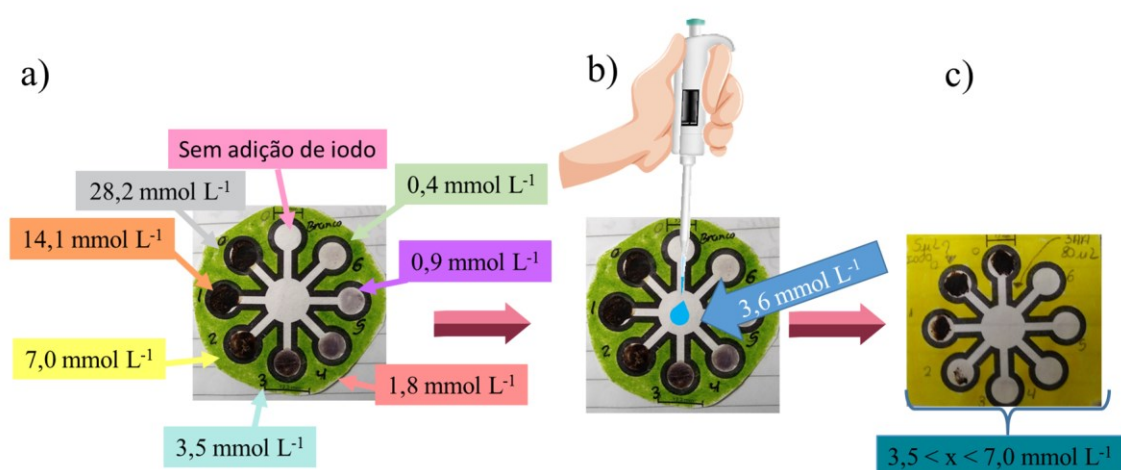
\* durante os testes, na zona do branco, em alguns casos, foi adicionado a diluição 0.

Fonte: a autora (2019).

Esse dispositivo foi nomeado então como “Dispositivo Redox tipo Flor”, pois consiste na construção de um centro interligado por “pétalas” modificadas na ponta por diferentes concentrações de iodo complexado com amido. Quando as amostras são adicionadas no centro da plataforma fluem por capilaridade para o final da pétala que evidência uma reação através

da inibição da coloração pela existência de espécies antioxidantes. E dependendo do número de zonas de análise que são inibidas, pode-se estimar a concentração de antioxidantes na amostra analisada, evidenciando assim um dispositivo semiquantitativo. O princípio de funcionamento do dispositivo redox tipo flor está representado na Figura 17. O dispositivo redox consiste em uma faixa de concentração determinada pelas zonas de análise modificadas com diferentes concentrações de iodo complexado com amido (Figura 17-a). Para esse tipo de dispositivo, quando, por exemplo, uma amostra a ser testada apresentar uma concentração de  $3,6 \text{ mmol L}^{-1}$  de AA (Figura 17-b) será evidenciado a inibição da coloração das zonas de análise pela existência de espécies antioxidantes dessa amostra (Figura 17-c). A faixa de concentração da amostra pode ser determinada da seguinte maneira: a zona de análise que tiver a coloração totalmente inibida corresponderá ao extremo inferior da faixa (menor concentração), e a primeira zona de análise em que a coloração não for inibida por completo corresponderá ao extremo superior da faixa (maior concentração), conforme resultado apresentado na Figura 17-c.

**Figura 17.** Princípio de funcionamento do dispositivo flor redox tipo flor; a) concentração das soluções de depositadas nas zonas de análise, b) representação de um teste com uma amostra de AA com concentração definida c) resultado do teste, com a faixa de concentração determinada.

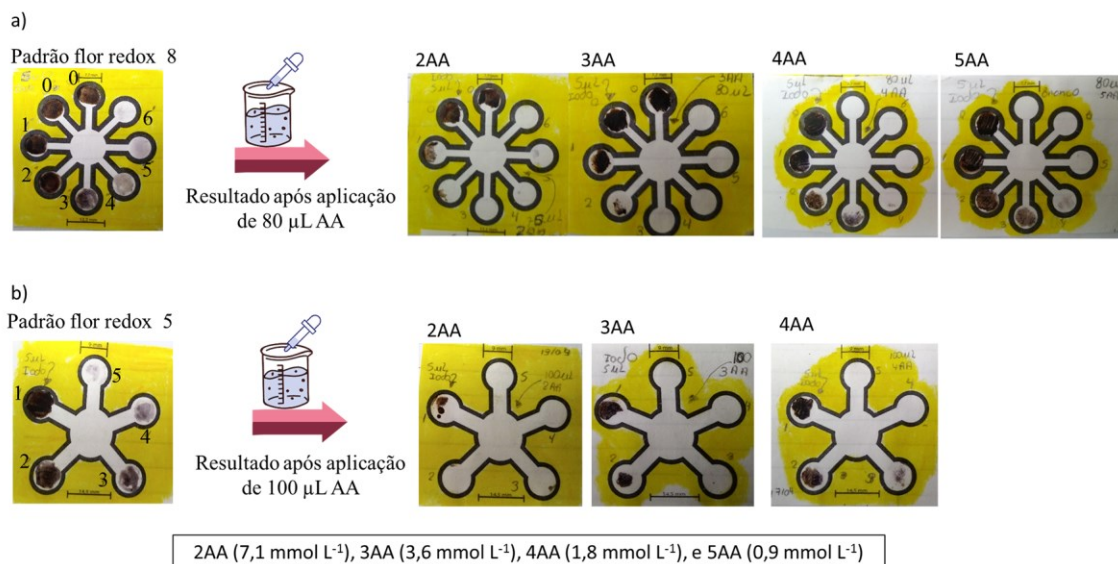


Fonte: a autora (2019).

Os testes de funcionamento dos dispositivos redox tipo flor, inicialmente ocorreram com soluções padrão de AA, pelo mesmo motivo descrito no teste qualitativo (os resultados deste teste são mostrados na Figura 18). As soluções testadas de AA foram as mesmas diluições descritas na Tabela 3. No dispositivo redox tipo flor 8 pétalas (Figura 18-a), gotejou-se  $80 \mu\text{L}$  das soluções de AA no centro dos dispositivos, foram testadas as diluições 2 (com concentração de  $7,1 \text{ mmol L}^{-1}$ ), 3 ( $3,6 \text{ mmol L}^{-1}$ ), 4 ( $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$ ), e 5 ( $0,9 \text{ mmol L}^{-1}$ ). No dispositivo redox

tipo flor 5 pétalas (Figura 18-b), foram testadas as diluições 2 ( $7,1 \text{ mmol L}^{-1}$ ), 3 ( $3,6 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e 4 ( $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$ ), sendo gotejado  $100 \mu\text{L}$  das soluções de AA no centro dos dispositivos.

**Figura 18.** Teste de funcionamento do dispositivo redox tipo flor, a) Padrão do dispositivo redox tipo flor 8 pétalas com o resultado após a adição de  $80 \mu\text{L}$  das diluições de AA no centro e b) Padrão do dispositivo redox tipo flor 5 pétalas com o resultado após a adição de  $100 \mu\text{L}$  das diluições de AA no centro.





















Fonte: a autora (2019).

A partir desse teste pode ser confirmada a funcionalidade do dispositivo tipo flor redox, pois com todas as soluções de AA testadas, observou-se a inibição da coloração da zona de análise (com concentração equivalente de iodo). Foi observado em alguns casos que manchas características do complexo iodo-amido persistiam após o teste com o antioxidante, embora a inibição da coloração devesse ser completa. Isso pode ser explicado pela presença de resquícios de farelo de giz de cera que ficaram no caminho microfluídico, ou também pelo complexo estar muito impregnado nos poros do papel.

Por fim, os dispositivos redox tipo flor foram empregados em um teste de quantificação de antioxidantes presentes nas amostras de bebidas e alimentos: suco de laranja, suco de limão, suco industrializado de laranja, extrato de pimentão, extrato de brócolis, chá de hibisco e chá de orégano. O resultado desse teste é apresentado na Figura 19, com as respectivas faixas de concentração de antioxidantes determinadas, e também a concentração determinada pelo método clássico para a comparação dos resultados. Para a comparação dos resultados dos dispositivos apresentou-se também os dispositivos padrões na Figura 19. A faixa de concentração da amostra foi determinada em função da última zona de análise completamente inibida e da primeira parcialmente inibida, conforme descrito anteriormente.

**Figura 19.** Resultado do teste de quantificação dos antioxidantes presentes nas amostras, com suas respectivas faixas de concentração detectadas pelo dispositivo semiquantitativo

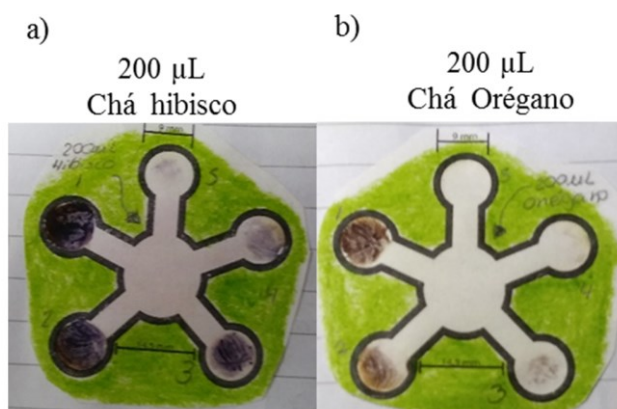
Sequência de teste com os dispositivos	Amostra testada	Resultado com o dispositivo redox tipo flor 5	Resultado com o dispositivo redox tipo flor 8	Faixa de concentração identificada (mmol L <sup>-1</sup> )*	Concentração método clássico (mmol L <sup>-1</sup> )
Padrão	-			-	-
1	Suco de limão			1,8 < x < 3,6	2,10
2	Suco de laranja			1,8 < x < 3,6	2,80
3	Extrato Pimentão			3,0 < x < 7,0	6,80
4	Extrato Brócolis			0,4 < x < 0,9	0,80
5	Chá de hibisco			0,4 < x < 0,9	0,30
6	Chá de orégano			0,4 < x < 0,9	0,40
7	Suco de laranja industrializado			0,4 < x < 0,9	0,8
8	Solução de Vitamina C			3,5 < x < 7,0	7,0

\* a concentração determinada pelo método proposto em que x representa a faixa dos valores de inibição  
Fonte: a autora (2019).

A partir desse teste, certificou-se que o dispositivo redox tipo flor respondeu nas faixas correspondentes as concentração de antioxidantes determinadas pelo método clássico. Nesse teste foi observado que amostras com baixas concentrações (testes 4, 5, 6 e 7) não puderam ser identificadas com o dispositivo redox tipo flor 5 pétalas, uma vez que na zona de análise 5 (menor concentração de iodo), não foi observada a inibição por completo. Nesses casos, há a necessidade de utilização do dispositivo redox tipo flor 8 pétalas, no qual a pétala 6 possui a menor concentração de iodo ( $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ ), e portanto há a inibição completa da zona de análise, assim possibilitando a identificação da presença da espécie antioxidante nas amostras.

Como não foi possível identificar a concentração dos antioxidantes nas amostras dos testes 6 e 7, pelo dispositivo redox tipo flor 5 pétalas, esse teste foi repetido com o dobro do volume da amostra, a fim de observar se haveria uma inibição das zonas de análise 5 e 4 (Figura 20).

**Figura 20.** Teste realizado com o dispositivo redox tipo flor 5 pétalas, com o dobro do volume das amostras de chá de hibisco e chá de orégano



Fonte: a autora (2019).

Ao dobrarmos o volume das amostras no centro do dispositivo foi possível determinar a faixa da concentração dessas amostras, onde as faixas encontradas foram o dobro da concentração das amostra (considerando o fator de diluição para a determinação da concentração). Outro teste realizado foi a utilização de amostras sem o processo de filtração, sendo possível observar que as partículas suspensas permaneceram no centro dos dispositivos, isso pode ser uma vantagem, uma vez que a filtração não se faz necessária, tornando a prática mais simples e rápida. Uma desvantagem observada no sistema, foi que o suco industrializado apresentou maior viscosidade que as demais amostras, inviabilizando o teste, por não fluir até o final da zona de análise, sendo necessário a diluição da amostra para a diminuição da

viscosidade e aumento do fluxo da amostra. Nesse caso, deve-se considerar o fator da diluição para a determinação da faixa de concentração.

Dessa forma, os dispositivos desenvolvidos apresentam uma proposta diferenciada das listadas na literatura (SILVA *et al.*, 1995; LUZ *et al.*, 2017), por utilizar a tecnologia conhecida como *lab-on-paper*, que consiste no desenvolvimento de dispositivos de análise empregando o papel como substrato, que é um material amplamente disponível, facilmente impresso e biodegradável (COSTA *et al.*, 2014; POURREZA; GOLMOHAMMADI, 2015; XU *et al.*, 2016). Os reagentes necessários para a construção dos dispositivos desenvolvidos nesse trabalho são de baixo custo e podem ser adquiridos facilmente no comércio. Esses dispositivos podem ser facilmente reproduzidos e não necessitam da estrutura de laboratórios para a sua construção e sua utilização. Isso se mostra um fator significativo para a aplicação nas escolas públicas, uma vez que a metodologia de Sharpe e Andreescu (2015) utiliza nanopartículas como reagentes que são de elevado custo e de difícil aquisição no comércio local.

## 5.2 Adaptação dos materiais para a aplicação na escola

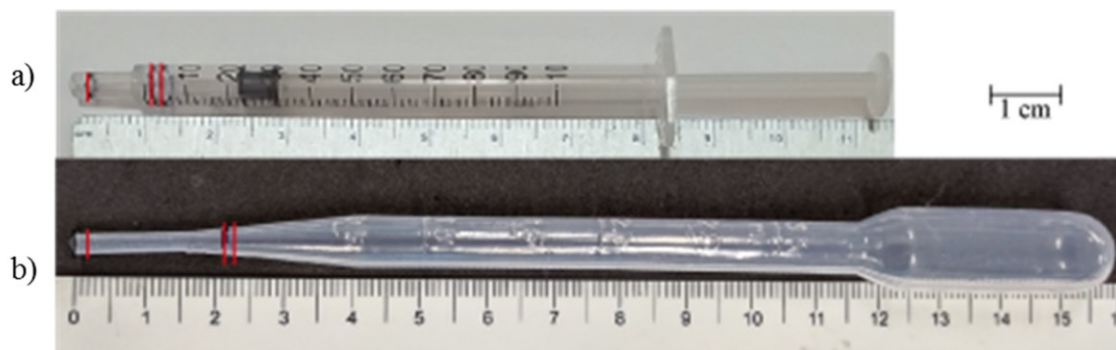
Por fim, pensando na adaptação dos métodos propostos nesse trabalho para a aplicação na educação básica no ensino de química, foram realizados testes com outros materiais que poderiam substituir as micropipetas, haja visto que esse material é de elevado custo e que muitas escolas não as possuem em seus laboratórios.

Foram testados diversos modelos de conta gotas (por exemplo embalagem de dipirona, conta gota comercial e pipeta de Pasteur), a fim de substituir a micropipeta. Contudo o volume de todos os modelos analisados apresentaram volumes superiores a 20  $\mu\text{L}$ , cerca de 4 vezes maior que o volume otimizado (5  $\mu\text{L}$ ), o que inviabilizaria a fabricação dos dispositivos. Além disso, na tentativa de reavaliar o volume de iodo, foi testado um volume maior de uma solução diluída (para manter o mesmo número de mols em cada zona de análise), mas observou-se que até a evaporação total do solvente ocorreu a evaporação do iodo, reduzindo a sua quantidade na zona de análise.

Desta forma, foi adaptada uma seringa de insulina de 1 mL sem agulha (marca SR) e uma pipeta de Pasteur de plástico. Destaca-se que todo equipamento adaptado pode acarretar em um erro de volume transferido. O ideal seria ter uma balança analítica para realizar a calibração destes materiais, evitando o uso de volumes incorretos. Esses dois materiais tiveram os volumes mais próximos aos utilizados com a micropipeta para a construção e aplicação dos

dispositivos, sendo adaptados a partir de marcações com distâncias exata de cada equipamento, os equipamentos adaptados são mostrados na Figura 21.




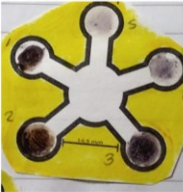


**Figura 21.** Materiais que foram adaptados, para substituir a micropipeta, a) Seringa de insulina de 1 mL e b) Pipeta de Pasteur.



Fonte: a autora (2019).

Nos materiais foram delimitadas linhas para indicar o volume da adição das amostras e de iodo. Na seringa foi observado que em 0,3 cm teríamos um volume aproximado de 5  $\mu\text{L}$ , o segundo traço seria na distância de 1,1 cm onde teríamos um volume aproximado de 80  $\mu\text{L}$  e a terceira marcação seria na distância de 1,2 cm que seria aproximadamente 100  $\mu\text{L}$ . Para a pipeta da Pasteur as distâncias medidas para cada volume foram: 0,1 cm para 5  $\mu\text{L}$ , 2,0 cm para 80  $\mu\text{L}$  e 2,2 cm para 100  $\mu\text{L}$ . Com essas distâncias definidas nos equipamentos, inicialmente construiu-se os dispositivos utilizando os materiais adaptados e comparou-se com os resultados do dispositivo empregando uma micropipeta para transferências das alíquotas necessárias, esses dados são apresentados na Figura 22.







**Figura 22.** Dispositivos construídos com equipamentos alternativos e dispositivo construído com a micropipeta.

Dispositivo	Pipeta de Pasteur	Seringa	Micropipeta
Flor redox 8			
Flor redox 5			

Fonte: a autora (2019).

As colorações das zonas de análise visualmente são muito próximas entre os dispositivos construídos com diferentes materiais e os construídos com a micropipeta. Por fim, foi realizado um teste de funcionamento dos dispositivos redox tipo flor (Figura 23), com uma solução de AA com concentração de  $3,6 \text{ mmol L}^{-1}$  (diluição 3 da Tabela 3).

**Figura 23.** Teste com os dispositivos utilizando a diluição 3 de AA ( $3,6 \text{ mmol L}^{-1}$ ) para a verificação do funcionamento dos dispositivos alternativos.

dispositivo	Pipeta de Pasteur	Seringa	Micropipeta
Flor redox 8			
Flor redox 5			

Fonte: a autora (2019).



Portanto, para esse teste, esperava-se uma inibição das zonas de análise até a zona de número 3. Contudo, os resultados mostraram uma variação na inibição das zonas de análise, isso pode ser explicado pela baixa precisão e exatidão dos equipamentos empregados, mas ao analisar que os dispositivos são semiquantitativos, a faixa que seria determinada para esse teste estaria compreendido dentro da faixa correspondente a concentração da amostra. Por exemplo, no caso do dispositivo redox tipo flor 5 pétalas, a faixa determinada nos dispositivo construído com a micropipeta foi de  $3,6 < x > 7,1 \text{ mmol L}^{-1}$ , e para dispositivo redox tipo flor 8 pétalas, a concentração determinada seria  $1,8 < x > 3,6 \text{ mmol L}^{-1}$ . Nas duas faixas observadas a concentração da solução testada está dentro do esperado, mesmo não sendo observada a mesma resposta, para os dispositivos construídos com os materiais alternativos.

A seringa de insulina se mostrou mais eficiente quando comparada a pipeta de Pasteur, uma vez que a distância delimitada para  $5 \mu\text{L}$  é maior, tornando mais fácil o manuseio, o que diminuiria o erro.

### 5.3 Desenvolvimento dos roteiros

Foram desenvolvidos três roteiros, sendo que dois roteiros estão voltados para a construção dos dispositivos, e um roteiro para aplicação de um dos dispositivos desenvolvidos nesse trabalho.

#### 5.3.1 Roteiros de construção dos dispositivos

Inicialmente foram elaborados roteiros para a construção dos dispositivos utilizando materiais adaptados, de forma mais resumida. Em que, tanto o professor como o estudante possam entender facilmente as etapas de construção. No Apêndice 1, está inserido o roteiro da construção do dispositivo redox tipo fita, e no Apêndice 2, está inserido o roteiro da construção do dispositivo redox tipo flor, sendo demonstrado os dois modelos criados para o desenvolvimento do teste semiquantitativo. Em ambos os roteiros foram apresentados uma seção introdutória, dando ênfase ao laboratório de química em papel (*Lab-on-paper*), pois nos últimos anos tem-se um grande destaque para o desenvolvimento de técnicas portáteis, que demandam poucos reagentes e possuam baixo custo.

Em outro tópico está inserido a apresentação dos processos de construção do dispositivo, como por exemplo, a explicação do surgimento da coloração roxa nos papéis após a modificação com os reagentes. Nesse tópico, vale destacar que o professor já pode introduzir o conteúdo de reação redox a partir do funcionamento desses dispositivos. No roteiro da

construção do dispositivo redox tipo flor, pode ser trabalhado os conceitos de diluição, em especial a diluição por partes, onde é possível demonstrar a partir dos volumes gastos das amostras (iodo e a água), a determinação da concentração por meio dos cálculos da igualdade de números de mols. Dependendo da turma do ensino médio em que será trabalhado, essa abordagem pode levar a apresentação de um novo conceito ou a retomada do conceito de diluição de soluções.

### 5.3.2 Roteiro de aplicação dos dispositivos

Como forma de utilização dos dispositivos, foi proposto um roteiro de aplicação, inserido no Apêndice 3, e que é voltado para o professor. No Apêndice 4 está inserido o roteiro para o estudante, que é uma seleção das principais partes do roteiro do professor. Ressalta-se aqui, que é impossível considerar que uma única aula será a provedora de todo o conhecimento destacado para o experimento trabalhado (MUNFORD; LIMA, 2007). Cabe ao professor, a partir da disponibilidade de tempo, das características dos estudantes, direcionar conforme as condições do contexto de ensino-aprendizagem o nível dos conceitos a serem abordados.

O roteiro conta com uma situação problema, onde o estudante vai se identificar com o episódio de esquecer um alimento na geladeira por um determinado tempo. Essa situação pode instigar o aluno a buscar a solução do problema, para verificar se as características do alimento realmente se alteram.

Os questionamentos após a situação problema possibilitam investigar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a atuação das espécies antioxidantes de forma fenomenológica no nosso organismo, e a partir destes, poderá ser realizado um maior aprofundamento e/ou retorno de certos conceitos. Há também um questionamento para que o aluno busque a resposta a partir do experimento, incentivando inicialmente a criação de hipóteses, e posteriormente a comprovação ou refutação de tal.

Cabe destacar a importância para a produção dos dispositivos por parte dos alunos, uma vez que essa tecnologia pode fornecer um excelente meio para ensinar aos estudantes alguns princípios básicos da química (KOESDJOJO *et al.*, 2015; ESFAHANI *et al.*, 2016). O desenvolvimento do experimento consiste na avaliação da atividade antioxidante das amostras de alimentos, armazenadas na geladeira por cerca de uma semana e também amostras preparadas no mesmo dia da análise. Portanto, esse experimento necessita de planejamento antecipado de ao menos uma semana, no qual o professor pode solicitar a participação dos estudantes para que tragam as amostras. O aluno após o experimento, utilizando o dispositivo,

verificará que haverá uma alteração dessa atividade, pela observação do fenômeno que envolve a mudança visual da coloração do dispositivo construído, podendo a partir dos dados visuais determinar a faixa de concentração de cada amostra. É de extrema importância que o professor promova a exposição dos dados e das conclusões obtidas pelos alunos.

Através dos questionamentos listados após o experimento, pode-se fazer a introdução dos conceitos de substâncias oxidantes e redutoras, como também a identificação dos estados de oxidação de cada componente, expondo por exemplo, a equação química envolvida no experimento. Além disso, pode apresentar a diferença entre as reações redox de substâncias inorgânicas (como o  $I_2$ ) e o comportamento redox de substâncias orgânicas (a vitamina C), que são mais complexas, pois, podem envolver vários átomos em uma única molécula com diferentes estados de oxidação. Assim é possibilitado ao professor trabalhar o poder redutor dessas substâncias, e por consequência, sua facilidade de oxidação, o que será evidenciado pelo experimento.

As outras perguntas possibilitam trabalhar a importância da vitamina C, em que o professor pode apresentar os aspectos históricos e a sua importância na dieta alimentar, exemplificando a doença do escorbuto. Outro aspecto que pode ser trabalhado é a estrutura da vitamina C, e dependendo do ano do ensino médio selecionado para aplicação da proposta, pode vir a contribuir para a compreensão de grupos funcionais orgânicos. Pode-se também abordar radicais livres, que em muitos casos, são combatidos no nosso organismo pela dieta com alimentos ricos em antioxidantes. Destaca-se a importância de apresentação de outras estruturas de compostos antioxidantes, mostrando que existem vários outros exemplos além da vitamina C. Cabe destacar que apesar de este experimento ter utilizado três amostras alimentícias, o professor pode trocar as amostras conforme disponibilidade local e época do ano.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, foi possível otimizar os processos de determinação de antioxidantes presentes em diversas amostras alimentícias, por meio da construção de dispositivos qualitativos e semiquantitativos, de baixo custo e de fácil reprodução. Os reagentes podem ser facilmente adquiridos, e outra vantagem da aplicação desse procedimento é a minimização da quantidade de resíduos gerados, devido à utilização de baixa quantidade de iodo.

Ainda que haja a necessidade da utilização de equipamentos exatos e precisos, como as micropipetas, foi possível propor materiais adaptados para a construção de dispositivos

semiquantitativos, embora ainda necessitem da calibração em balança analítica. Na falta de balanças analíticas, que impossibilitam a calibração dos materiais alternativos substitutos das micropipetas, pode-se fazer o uso do dispositivo qualitativo.

Além da proposição de dispositivos, foram ainda desenvolvidos roteiros que descrevem a construção desses, como também um roteiro que visa a aplicação do dispositivo semiquantitativo no ensino médio. Os roteiros desenvolvidos possibilitam a introdução do conceito de reações redox e antioxidantes, sendo estes últimos normalmente negligenciados no ensino da eletroquímica. Tendo em vista a sua importância para o conhecimento de fenômenos presentes no cotidiano, os dispositivos propostos representam uma ótima alternativa para a utilização nas aulas de química e podem aumentar o interesse dos estudantes pelo assunto.

Sugere-se ainda realizar outros testes ou outras atividades, para além da comprovação desse trabalho como: Testar os dispositivos frente a outras espécies antioxidantes, além do AA, que possuem potencial de redução menor que a solução de iodo, pois como já citado foram testados alimentos que possuem outras espécies antioxidantes na sua composição; Desenvolver mais roteiros, como um roteiro de aplicação do dispositivo redox tipo fita e desenvolver um roteiro de calibração dos materiais adaptados, uma vez que para o bom funcionamento do dispositivo redox tipo flor, materiais precisos e exatos são necessários; Aplicar as metodologias desenvolvidas com os roteiros propostos e avaliar a potencialidade deste trabalho em turmas do ensino médio;

## 7 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176 –194, 2003.
- ATKINS, P. W.; JONES, Loretta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- ANTONIALI, S.; LEAL, P. A. M.; MAGALHÃES, A. M. de; SANCHES, J. Comparação entre a qualidade do pimentão amarelo resfriado rapidamente e o comercializado sem refrigeração. **Horticultura Brasileira** v. 27, n. 2, p. 1 – 8, 2009.
- AZEVEDO, É. M. A importância da experimentação em cursos de graduação em química modalidade EAD. Em congresso internacional da educação e tecnologias e Encontro de pesquisadores em Educação a distância. **CIET/ EnPED**, 2018.
- BUSA, L. S. A. *et al.*, Advances in Microfluidic Paper-Based Analytical Devices for Food and Water Analysis. **Micromachines**, v. 7, n. 86, p. 1 – 21, 2016.
- BACCAN, N.; **Introdução a semimicroanálise qualitativa**. 3a ed. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2001.
- BARRETO, B. S. J.; BATISTA C. H.; CRUZ, M. C. P. Células Eletroquímicas, Cotidiano e Concepções dos Educandos. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 1, p.43 – 49, 2017.
- BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES. L. M. G.. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Rev Nutr.**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 123 – 130, 1999.
- BRONDANI, D. *et al.* Laboratório de química em papel: uma estratégia para aulas de química no ensino médio. In: VOIGT, C. L. (Org.). **O ensino de química 2**. Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. p. 1-356.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: **MEC/SEMTEC**, 2002.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. OCN: Orientações curriculares Nacionais para o ensino médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, **MEC/ SEMTEC**, 2006.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. PCN+: Ensino Médio: orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: **MEC/ SEMTEC**, 2002.

CARAMEL, N. J.; C; PACCA, J. L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p 7 – 26, 2011.

CARLSEN, M. H *et al.* The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 1, 2010.

CERQUEIRA, F. M.; MEDEIROS, M. H. G. de; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p.441 – 449, 2007.

CHASSOT, A., Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**. n. 22, p. 89 – 100, 2003.

COLTRO, W. K. T. *et al.* Microsistemas de análises químicas: introdução, tecnologias de fabricação, instrumentação e aplicações. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 1986 – 2000, 2007.

COSTA, M. *et al.* Low cost, safe, disposable, rapid and self-sustainable paper-based platform for diagnostic testing: Lab-on-paper. **Nanotechnology**, v. 25, n. 9, p. 1 – 12, 2014.

ESFAHANI, M. M. N. *et al.* Lab-on-a-chip workshop activities for secondary school students. **Biomicrofluidics**, v. 10, n. 1, 2016.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no Ensino de Ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p.43 – 49, 1999.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 219 – 238, 2006.

GUARATINI, T.; MEDEIROS, M. H. G.; COLEPICULO, P. Antioxidantes na Manutenção do Equilíbrio Redox Cutâneo: Uso e Avaliação De Sua Eficácia. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 206 – 213, 2007.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo a Aprendizagem significativa. **Química nova na Escola**, v.31, n. 3, p.198 – 202, 2009.

KLEIN, S. G.; BRAIBANTE, M. E. F., Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 1, p. 35 – 45, 2017.

KOESDJOJO, M. T. *et al.* Cost Effective Paper-Based Colorimetric Microfluidic Devices and Mobile Phone Camera Readers for the Classroom. **Journal of Chemical Education**, Washington, D. C., v. 4, n. 92, p. 737 – 741, 2015.

LI, X.; BALLERINI, D.; SHEN, W. A perspective on paper-based microfluidics: Current status and future trends. **Biomicrofluidics**, v. 6, n. 1, p. 11301 – 11313, 2012.

LIMA, V. A.; MARCONDES, M. E. R. Atividades experimentais no ensino de química. Reflexões de um grupo de professores a partir do tema Eletroquímica. **Enseñanza de lasCiencias**, v. extra, p. 1– 4, 2005.

LIRA, E. F.; BARBOSA, M. R. S.; NASCIMENTO, C. G. R.; SANTOS, M. B. H. **Oficina interativa: uma proposta didática para o conteúdo de eletroquímica**. III Congresso Nacional de Educação, Natal/RN. Anais III CONEDU, 2016.

LUZ, L. T. N. F.; VIEIRA, N. R.; CURCIO A.; DEMOS, T. V. **Radicais Livres e Antioxidantes: Uma intervenção didática com alunos do ensino médio inovador**. Em 37º Encontro de Debates Sobre o Ensino de Química. Pelotas: EDEQ, 2017.

MARCONDES, M. E. R. Proposições metodológicas para o ensino de química: oficinas temáticas para a aprendizagem da ciência e o desenvolvimento da cidadania. **Revista em extensão**, v. 7, p. 67 – 77, 2008.

MARTINEZ, A. W.; PHILLIPS, S. T.; WHITESIDES, G. M.; CARRILHO, E. Diagnostics for the Developing World: Microfluidic paper based analytical Devices. **Analytical Chemistry**, v. 82, p. 3 – 10, 2010.

MATOS, L. A. C., TAKATA, N. H. e BANCZEC, E. P. A Gota Salina de Evans: Um Experimento Investigativo, Construtivo e Interdisciplinar. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 4, 237 – 242, 2013.

MORBIOLI G. G. *et al.* Technical aspects and challenges of colorimetric detection with microfluidic paper-based analytical devices ( $\mu$ PADs) – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 970, p. 1 – 22, 2017.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. de C. e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 89 – 111, 2007.

NOGUEIRA, K. S. C.; GOES, L. F.; FERNANDEZ, C. O estado da arte sobre o ensino de reações redox nos principais eventos na área de educação no Brasil. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 3, p. 410 – 434, 2017.

OLIVEIRA, A. C. de. *et al.*, Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 689 – 702, 2009.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: Reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 139 – 153, 2010.

PITANGA, A. F.; OLIVEIRA, E. C. **Radical livres e antioxidantes: Atividade investigativa sobre reações de oxirredução em compostos orgânicos**. Em 32º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Fortaleza: RASBQ, 2009.

POURREZA, N.; GOLMOHAMMADI, H. Application of curcumin nanoparticles in a lab-on-paper device as a simple and green pH probe. **Talanta**, v. 131, p. 136 – 141, 2015.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes Utilizados Em Óleos, Gorduras e Alimentos Gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755 – 760, 2006.

SANJUAN, M. E. C. *et al.* Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica. **Química Nova na Escola**, n. 31, p. 190 – 197, 2009.

SKOOG, D. A. *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**. 9a ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SILVA, S. L. A.; FERREIRA, G. A. L.; SILVA, R. R. À procura da vitamina C. **Química Nova na Escola**, v. 2, p. 31 – 32, 1995.

SILVA, A. B. da; WIEST, J. M.; CARVALHO, H. H. C. Compostos químicos e atividade antioxidante analisados em *Hibiscus rosa-sinensis* L. (mimo-de-vênus) e *Hibiscus syriacus* L. (hibisco-da-síria). **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 19, p. 1 – 9, 2016.

SHARPE, E.; ANDREESCU, S. Integration of Nanoparticle-Based Paper Sensors into the Classroom: An Example of Application for Rapid Colorimetric Analysis of Antioxidants. **Journal of Chemical Education**, v. 92, p. 886 – 891, 2015.

XU, Y. *et al.* Lab-on-paper micro- and nano-analytical devices: Fabrication, modification, detection and emerging applications. **Microchimica Acta**, v. 183, n. 5, p. 1521 – 1542, 2016.


WANKENNE, M. A.; M. FAN (Ed.). A CIÊNCIA DOS ANTIOXIDANTES. **Fib - Food Ingredients Brasil**: EDIÇÃO 34, Barueri, SP, v. XVII, n. 34, p.1-100, 2015.

WHITESIDES, G. M. The origins and the future of microfluidics. **Nature**, v. 442, n. 7101, p. 368 – 373, 2006.



## 8 APÊNDICE

## APÊNDICE 1 – Roteiro para construção do dispositivo redox tipo fita

	<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA</b> <i>Campus Blumenau</i> <b>Curso de Licenciatura em Química</b> <i>Construção do dispositivo redox tipo fita</i>
---	--

**DISPOSITIVO REDOX TIPO FITA**

Nos últimos anos, pesquisas vêm sendo realizadas sobre a tecnologia conhecida como *Lab-on-Paper* (laboratório em papel), que consiste na construção de dispositivos utilizando papel como substrato. Com um pequeno pedaço de papel é possível realizar diversas análises químicas, que não necessitam da estrutura de um laboratório. Apresenta também simples manuseio, baixo custo, utiliza uma pequena quantidade de reagentes e minimiza a quantidade de resíduos gerados (COSTA *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2016).

Os dispositivos de análise em papel podem ser divididos em várias categorias, entre elas destacam-se as tiras de teste (*test strips*). Este é o tipo mais simples, pois se trata de uma tira à base de papel com reagente(s) pré-depositado(s), a qual é colocada em contato com uma amostra, como, por exemplo, as fitas para medidas de pH (MORBIOLI *et al.*, 2017).

Esse roteiro visa apresentar o procedimento de construção de dispositivos indicadores redox. Estes dispositivos são construídos a partir de tiras de papel filtro, sobre as quais uma pasta de amido é depositada. Posteriormente, estas tiras são imersas em uma solução de iodo, exibindo uma coloração roxa indicando a formação do complexo iodo-amido. Esse dispositivo pode ser empregado em testes para avaliar a presença de antioxidantes em diferentes amostras, como, por exemplo, suco de laranja, suco de limão, suco industrializado de laranja, extrato de pimentão amarelo, etc.

**MATERIAIS E REAGENTES:**

- Papel filtro qualitativo ou filtro de papel para café;
- Amido de milho;
- Solução de iodo 2% (encontrada em farmácias com o nome de Lugol 2%);
- Microtubos (ou copinhos de plásticos transparentes);
- Pipeta graduada ou seringa plástica;
- Tesoura;
- Pincel.

**PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL****Preparo das soluções:**

- Diluição da solução de lugol 2%:

Utilize 1 mL do lugol e 89 mL de água (a concentração final da solução de iodo será 0,9 mmol L<sup>-1</sup>). Transfira uma alíquota de 1 mL dessa solução para um microtubo plástico.

- Suspensão de amido

Adicione em um recipiente uma colher de chá de amido de milho (aproximadamente 1,0 g) e 10,0 mL de água. Essa mistura deve ser deixada sob aquecimento por cerca de 30 min, com constante agitação até que a solução apresente uma consistência de pasta (um pouco transparente), conforme mostrado na Figura 1-a. Outro fator importante para a consistência ideal da pasta é manter o recipiente aberto durante o período de agitação, fazendo com que cerca da metade do volume inicial de água evapore.

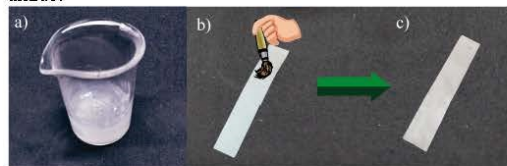
### Preparo do dispositivo redox tipo fita

Recorte o papel filtro em tiras com 1 cm de largura e 5 cm de comprimento. Este tamanho permite mergulhar facilmente estas tiras no microtubo plástico contendo solução de iodo.

Obs. O tamanho da tira de papel pode ser adaptado conforme necessário, dependendo do tamanho do recipiente que se deseje preparar/armazenar a solução de iodo diluída.

Em seguida, pincele a pasta de amido nos dois lados da tira de papel filtro (Figura 1-b). Espere em torno de 10 min para secar o amido depositado. A coloração final do papel é a mesma (Figura 1-c).

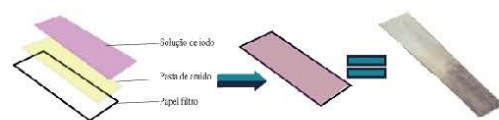
**Figura 1.** a) imagem da consistência ideal da pasta de amido, b) representação da aplicação da pasta de amido no papel filtro e c) papel filtro após a secagem da pasta de amido.



Fonte: a autora. (2019)

Subsequentemente, estas tiras devem ser imersas na solução de iodo diluída (até metade da tira) e retiradas rapidamente para evitar a adsorção excessiva. A coloração final da tira de papel vai ser roxa, como mostrada na Figura 2, indicando a formação do complexo iodo-amido.

**Figura 2.** Representação das etapas de montagem do dispositivo redox tipo fita



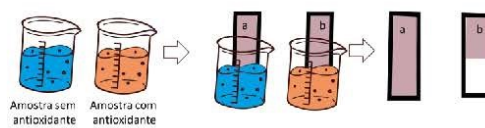
Fonte: a autora. (2019)

Então o dispositivo está pronto para ser utilizado para testes com amostras alimentícias.

### Funcionamento do dispositivo

Em um béquer ou recipiente que contenha as amostras a serem testadas, faça a imersão do dispositivo redox tipo fita e observe se houve a mudança na coloração, conforme a Figura 3. Se ocorrer a inibição da coloração no local que entrou em contato com a amostra, você concluirá que a amostra contém antioxidantes. Caso a cor permaneça a mesma, será verificado que não contém antioxidantes (oxidáveis pelo iodo).

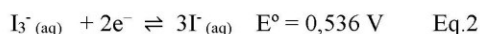
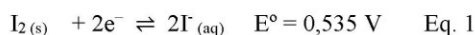
**Figura 3.** Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste qualitativo para a presença de antioxidantes.



Fonte: a autora. (2019)

### Porque o dispositivo redox tipo fita fica roxo e em contato com espécies antioxidante inibe sua coloração?

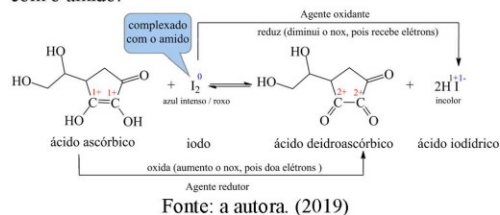
O método envolve a redução do iodo (método iodimétrico), conforme a semirreação da Equação 2. Porém o iodo ( $I_2$ ) tem uma baixa solubilidade em água. Assim, soluções de iodo são preparadas dissolvendo  $I_2$  em uma solução concentrada de iodeto de potássio, pois o íon triiodeto ( $I_3^-$ ) é altamente solúvel. A formação de  $I_3^-$  não altera nem produz erros no método porque os potenciais padrões de redução das semirreações são praticamente iguais, por isso optou por representar  $I_2$  na Equação 1. Além disso, no decorrer do texto foi usado o termo “solução de iodo” para simplificação (representando a solução de triiodeto) (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 1990).



Vale destacar que a solução de iodo ( $I_2$  ou  $I_3^-$ ) usada para a construção do dispositivo redox tipo fita, quando entra em contato com amido produz uma coloração, devido à adsorção do íon triiodeto pelas macromoléculas coloidais do amido. O amido é formado por dois constituintes: amilose ( $\beta$ -amilose) e amilopectina ( $\alpha$ -amilose). A amilose forma um complexo de adsorção com o  $I_3^-$  de cor azul intensa e a amilopectina de cor violácea. Portanto a coloração varia de azul para roxo, dependente da preparação da pasta de amido e da concentração do iodo no meio. Nesta metodologia, o amido é usado como indicador visual do processo (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 1990).

Quando o dispositivo é inserido em amostras que contenham espécies antioxidantes sua coloração é inibida (ocorre a descoloração). Essa avaliação da ação antioxidante consiste em um experimento da reação redox representada na Figura 4, onde as amostras testadas, que apresentam vitamina C (ácido ascórbico), sofrem oxidação e atuam como um agente redutor da solução de iodo, que ao ser reduzido forma o ácido iodídrico (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 1990).

**Figura 4.** Representação esquemática da reação redox, entre o ácido ascórbico e a solução de iodo complexada com o amido.



Vale ressaltar que, apesar de algumas amostras inibirem a coloração do dispositivo, indicando a presença de ácido ascórbico, essa reação pode ocorrer devido à presença de outras espécies antioxidantes e que também podem responder ao teste com o dispositivo redox. Conforme mostrado na Tabela 1, essas amostras responderão frente a potências de redução menores que a solução de iodo.

**Tabela 1.** Alguns exemplos de antioxidantes presentes em alguns alimentos

Alimento	Antioxidante	Alimento	Antioxidante
Mamão	$\beta$ -caroteno	Uva	Ácido elágico
Brócolis	Flavonoides	Salsa	Flavonóides
Laranja	Vitamina C	Morango	Vitamina C
Chá	Catequinas	Curry	Curcumina
Vinho	Quercetina	Noz	Polifenóis
Cenoura	$\beta$ -caroteno	Espinafre	Clorofilina
Tomate	Carotenoides	Repolho	Taninos
Cravo	Eugenol	Hortelã	Timol.
Orégano	Fenilpropanoides	Hibisco	Polifenóis

Fonte: Adaptado de BIANCHI; ANTUNES, 1999.

**REFERÊNCIAS**

BACCAN, N.; **Introdução a semimicroanálise qualitativa**. 3a ed. Campinas: Ed. da UNICAMP, 1990.

COSTA, M. *et al.* Low cost, safe, disposable, rapid and self-sustainable paper-based platform for diagnostic testing: Lab-on-paper. **Nanotechnology**, v. 25, n.9, p. 1 – 12, 2014.

MARTINEZ, A. W.; PHILLIPS, S. T.; WHITESIDES, G. M.; CARRILHO, E. Diagnostics for the Developing World: Microfluidic paper based analytical Devices. **Analytical Chemistry**, [S. l], v. 82, p. 3 – 10, 2010.

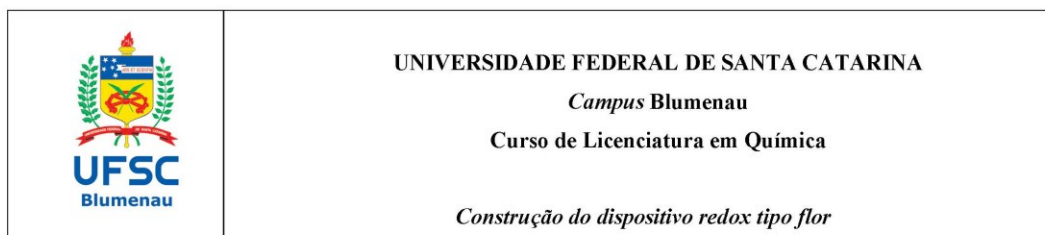
MORBIOLI G. G. *et al.* Technical aspects and challenges of colorimetric detection with microfluidic paper-based analytical devices ( $\mu$ PADs) – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 970, p. 1 – 22, 2017.

SKOOG, D. A., *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

XU, Y. *et al.* Lab-on-paper micro- and nano-analytical devices: Fabrication, modification, detection and emerging applications. **Microchimica Acta**, v.183, n. 5, p. 1521 – 1542, 2016.

WHITESIDES, G. M. The origins and the future of microfluidics. **Nature**, v. 442, n. 7101, p. 368 – 373, 2006.

## APÊNDICE 2 – Roteiro para construção do dispositivo redox tipo flor



### DISPOSITIVO REDOX TIPO FLOR

Nos últimos anos, pesquisas vêm sendo realizadas sobre a tecnologia conhecida como *Lab-on-Paper* (laboratório em papel), que consiste na construção de dispositivos utilizando papel como substrato. Com ele, é possível realizar diversas análises químicas, sem a necessidade da estrutura de um laboratório. Essa tecnologia apresenta simples manuseio, baixo custo, utiliza uma pequena quantidade de reagentes e minimiza a quantidade de resíduos gerados (COSTA et al., 2014; XU et al., 2016).

Os dispositivos de análise em papel podem ser divididos em várias categorias, entre elas destaca-se a microfluídica em papel ( $\mu$ PADs – *microfluidic paper-based devices*) (MARTINEZ et al., 2010; MORBIOLI et al., 2017).

A microfluídica em papel possibilita o desenvolvimento de sistemas miniaturizados de análises químicas e consiste na manipulação de líquidos em microcanais (WHITESIDES, 2006). A fabricação dos dispositivos de microfluídica em papel é geralmente executada em duas etapas principais, que consistem: 1) criação de barreiras hidrofóbicas no papel para obtenção de um caminho no qual o líquido irá percorrer até atingir a “zona de análise” e 2) na aplicação de reagentes indicadores nas “zonas de análise” (Figura 1).

**Figura 1.** Esquema geral da fabricação de dispositivos de microfluídica em papel, reagentes indicadores nas “zonas de análise”.



A colorimetria em  $\mu$ PADs é uma das metodologias mais simples, rápidas e baratas, pois os resultados das análises se dão através da cor indicada após o contato com reagente (na zona de análise). Basicamente, a amostra contendo o analito de interesse é dirigida até a zona de teste que contém o reagente colorimétrico, ocorrendo o desenvolvimento da cor devido à reação química entre o analito e o reagente. A imagem é então analisada quanto à intensidade ou inibição de coloração, que está relacionada com a concentração do analito na amostra (MARTINEZ et al. 2007).

Esse roteiro apresenta a construção de duas arquiteturas de dispositivos, ambos baseados no modelo de “flor”. O modelo de “flor” consiste na delimitação de um centro interligado a “pétalas” (zonas de análise), com suas extremidades modificadas por um material indicador (neste caso, amido-iodo). As amostras líquidas, quando adicionadas no centro do dispositivo, fluem por

capilaridade até o final da pétala, onde ocorre uma reação de identificação. No arranjo proposto, cada “pétala” recebe uma concentração diferente de agente oxidante (iodo).

#### MATERIAIS E REAGENTES:

- Papel filtro qualitativo
- Lápis de cera (Faber Castell ®) ou caneta permanente (BIC ® ou Faber Castell ®)
- Micropipeta, seringa plástica (tipo insulina marca SR)
- Amido de milho
- Solução de iodo 2% (encontrada em farmácias, sob o nome de Lugol 2%);
- Microtubos (ou copinhos de plásticos transparentes);
- Tesoura
- Pincel
- Placa de Petri (ou tampa de pote)

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

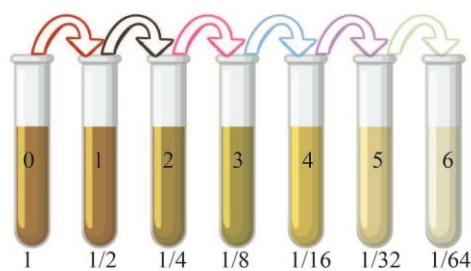
##### Preparo das soluções:

- Diluição da solução de lugol:

As soluções de iodo devem ser preparadas a partir de uma solução de lugol 2% (equivalente a  $0,0774 \text{ mol L}^{-1}$ ), realizando 6 diluições pelo método das diluições por partes (ou diluição em série), onde para cada diluição adiciona-se uma parte da solução de iodo anterior (de maior concentração) e uma parte de água, representada na Figura 2. As etapas de diluições estão mostradas na Tabela 1, na qual também estão inseridas as concentrações finais de iodo para

cada diluição, sendo que o número da diluição foi utilizado para definir a concentração do iodo durante a construção do dispositivo redox tipo flor.

**Figura 2.** Representação do método de diluição por partes, em que as diluições iniciam com o estoque, e cada nova diluição emprega uma parte da solução anterior de iodo e uma parte de água.



Fonte: a autora. (2019)

**Tabela 1.** Diluição por partes a partir da solução estoque de lugol

Número de diluições	Volumes (mL)		Concentração de iodo ( $\text{mmol L}^{-1}$ )
	Solução anterior (mL)	Água (mL)	
Estoque (0)	-	-	28,2
1	1	1	14,1
2	1	1	7,0
3	1	1	3,5
4	1	1	1,8
5	1	1	0,9
6	1	1	0,4

Fonte: a autora. (2019)

- Pasta de amido

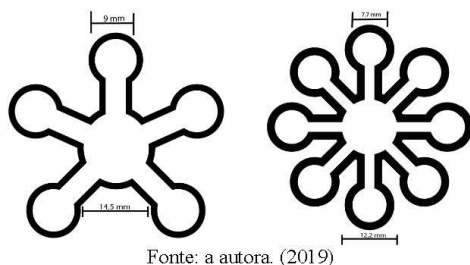
Utilize aproximadamente 10,0 mL de água e aproximadamente 1,0 g de amido de milho (equivalente a uma colher rasa de chá), essa mistura deve ser deixada por aproximada 30 min sob aquecimento, com constante agitação até que a solução apresente uma consistência de pasta (um pouco transparente), conforme mostrado na

Figura 4-a. Outro fator importante para a consistência ideal da pasta é manter o recipiente aberto durante o período de agitação, isto faz com que cerca de metade do volume inicial de água evapore.

#### Preparo do dispositivo redox tipo flor

Para a padronização e facilitação da construção dos dispositivos, realize a impressão dos moldes diretamente nas folhas de papel filtro (cortada em tamanho A4), utilizando impressora com tonner (tinta em pó) e jato de tinta (tinta líquida). A Figura 3 apresenta dois modelos de dispositivos tipo flor, que variam a quantidade de pétalas (moldes em tamanho real para impressão são disponibilizados no final desse roteiro). A primeira arquitetura proposta possui 5 “pétalas” para 5 concentrações de iodo, já a segunda arquitetura apresenta 8 “pétalas” para 7 concentrações de iodo. A diferença das arquiteturas está nas concentrações depositadas de iodo para a detecção de antioxidantes.

**Figura 3.** Moldes desenvolvidos para a impressão dos dispositivos semiquantitativos, com tamanhos diferentes. O molde de 5 pétalas possui 9 mm de diâmetro das zonas de análise e 14,5 mm para a aplicação da amostras, já o molde de 8 pétalas possui 7,7 mm de diâmetro para as zonas de análise e 12,2 mm no centro.



Fonte: a autora. (2019)

Quando não se tem papel filtro nos tamanhos apropriados para utilizar em impressoras, os

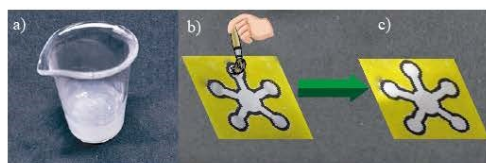
moldes também podem ser impressos em folhas sulfite e transcritos para o papel filtro. Mas recomenda-se que seus tamanhos sejam próximos dos descritos na Figura 3, pois a variação do tamanho do molde pode acarretar em erros significativos nos testes de quantificação.

A criação de barreira hidrofóbica no papel para a obtenção de um caminho no qual o líquido vai percorrer até a “zona de análise”, pode ser realizado com pincel marcador permanente e lápis de cera. A demarcação com os pincéis marcadores, tanto da marca BIC® (modelo ultra fino - 0,6 mm) e Faber Castell® (CD marker - 1,0 mm), deve ser realizada conforme o contorno dos modelos, colorindo a área ao redor. Destaca-se, entretanto, que a utilização de lápis de cera para esse fim é mais efetiva.

A pintura com lápis de cera (Faber-Castell®) deve ser feita em apenas uma face do papel e fora da demarcação (“contorno”) do modelo, assim não ocorre a invasão da cera no caminho hidrofílico. Em seguida, deve-se aquecer por aproximadamente 15 min com um secador de cabelos ou com auxílio de uma estufa (60 °C). Esta etapa requer atenção especial, pois o aquecimento em excesso pode causar a invasão da cera para dentro do caminho hidrofílico.

Após a criação da barreira hidrofóbica no papel, pincele a pasta de amido igualmente em todas as zonas de análise (Figura 4-b) e aguarde cerca de 10 min para a secagem. A coloração final do papel se mantém a mesma (Figura 4-c).

**Figura 4.** Consistência ideal da pasta de amido para a aplicação nos zonas de análise dos dispositivos, b) representação da aplicação da pasta de amido no dispositivo e c) dispositivo após a secagem da pasta de amido.



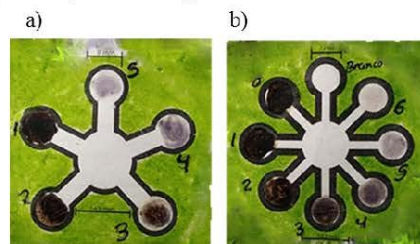
Fonte: a autora. (2019)

A aplicação do iodo nas zonas de análise (com o auxílio de uma micropipeta) deve ser feita delicadamente, sendo que em cada zona são depositados 5  $\mu\text{L}$  de cada solução de iodo (de diferentes concentrações, conforme mostradas na Tabela 1).

Caso não tenha a sua disposição uma micropipeta, pode-se utilizar uma seringa de insulina de 1 mL (sem agulha). Destaca-se que todo equipamento adaptado pode acarretar em um erro de volume transferido. Recomenda-se que se utilize uma balança analítica para realizar a “calibração” da seringa (desta forma evita-se o uso de volumes incorretos). Por exemplo, para seringa da marca SR (utilizada nos testes), delimitou-se uma linha na altura de 0,3 cm, que equivalia ao volume aproximado de 5  $\mu\text{L}$ .

Deposite cuidadosamente as soluções de iodo como mencionado anteriormente. Conforme Tabela 1, para o dispositivo redox tipo flor de 5 pétalas (Figura 5-a) devem ser aplicadas as diluições de 1 a 5, enquanto que para o dispositivo redox tipo flor de 8 pétalas (Figura 5-b) devem ser aplicadas todas as diluições deixando uma zona de análise para ser o branco.

**Figura 5.** Padrões dos dispositivos redox flor. a) modelo de 5 pétalas; b) modelo de 8 pétalas.



Fonte: a autora. (2019)

Outro fator importante para a construção do dispositivo é não deixá-lo em contato direto com a superfície da mesa ou bancada, a fim de evitar o vazamento da zona de análise. Para tanto, todos os dispositivos devem ser acondicionados em cima de uma placa de Petri (ou também tampa de pote plástico), cuidando para que o canal microfluídico não fique apoiado nas bordas do suporte conforme representação da Figura 6.

**Figura 6.** Representação esquemática dos dispositivos depositados sobre a superfície de uma mesa e sobre uma placa de Petri para avaliar o efeito de vazamento do líquido para o meio externo ao dispositivo.



Fonte: a autora. (2019)

### Funcionamento do dispositivo

A análise das amostras para o dispositivo redox tipo flor 8 pétalas (contendo espécies antioxidantes) consiste na adição de uma alíquota de 80  $\mu\text{L}$  (equivalente ao volume transferido por 1,1 cm na seringa adaptada) no centro do dispositivo, indicado na Figura 6. Para o dispositivo flor redox tipo flor 5 pétalas o volume da alíquota é 100  $\mu\text{L}$  (equivalente ao volume



transferido por 1,2 cm na seringa adaptada). Conforme a quantidade de compostos antioxidantes presentes na amostra haverá uma maior ou menor inibição da coloração das pontas indicadoras, possibilitando a estimativa da faixa de concentração do antioxidante na amostra, o que evidência um teste semiquantitativo.

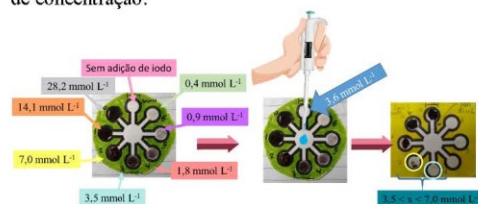
**Figura 7.** Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste semiquantitativo para antioxidantes (onde 0-6 corresponde a diferentes concentrações de iodo).



Fonte: a autora. (2019)

A faixa de concentração pode ser determinada pelo poço que tiver a coloração totalmente inibida (que seria a menor concentração presente) e o primeiro poço em que a coloração não foi inibida por completa (seria a maior concentração). Ou seja, supondo que ao testar uma amostra em qualquer modelo, conforme Figura 8, e houver a inibição da coloração até o poço 3, a concentração menor será equivalente a diluição 3 (da Tabela 1) e a maior será equivalente a diluição 4 (da Tabela 1). Sendo igual a faixa de  $3,5 < x < 7,0 \text{ mmol L}^{-1}$  ou igual a faixa de  $63,4 < x < 125 \text{ mg}/100 \text{ mL}$ , essa última faixa é expressa em mg de AA para 100 mL, devido à grande parte das informações de teores de vitamina C serem encontrados dessa forma na literatura e nas embalagens dos alimentos e fármacos.

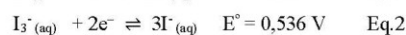
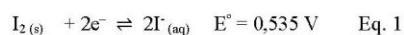
**Figura 8.** Representação de um teste com uma amostra de AA com concentração definida e a determinação da faixa de concentração.



Fonte: a autora. (2019)

### Por que o dispositivo redox tipo fita fica roxo e em contato com espécies antioxidante inibe sua coloração?

O método envolve a redução do iodo (método iodimétrico) é baseado na semirreação da Equação 2. Porém o iodo ( $I_2$ ) tem uma baixa solubilidade em água. Assim, soluções de iodo são preparadas dissolvendo  $I_2$  em uma solução concentrada de iodeto de potássio, pois o íon triiodeto ( $I_3^-$ ) é altamente solúvel. A formação de  $I_3^-$  não altera nem produz erros no método porque os potenciais padrões de redução das semirreações são praticamente iguais, por isso optou por representar  $I_2$  na Equação 3. Além disso, no decorrer do texto foi usado o termo “solução de iodo” para simplificação (representando a solução de triiodeto) (SKOOG et al., 2009; BACCAN, 2001).

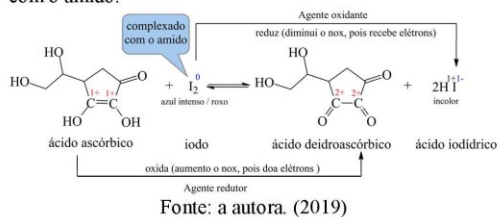


Vale destacar que a solução de iodo ( $I_2$  ou  $I_3^-$ ) usada para a construção do dispositivo redox tipo fita, quando entra em contato com amido produz uma coloração azul intensa, devido à adsorção do íon triiodeto pelas macromoléculas coloidais do

amido. O amido é formado por dois constituintes: amilose ( $\beta$ -amilose) e amilopectina ( $\alpha$ -amilose). A amilose forma um complexo de adsorção com o  $I_3^-$  de cor azul intensa e a amilopectina, de cor violácea. Portanto a coloração varia de azul para roxo, dependente da concentração do iodo no meio, no dispositivo a coloração que se observa é roxa. Sendo assim, o amido é usado como indicador visual do processo (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 2001).

Quando o dispositivo é inserido em amostras que contêm espécies antioxidantes sua coloração é inibida. Essa avaliação da ação antioxidante consiste em um experimento da reação redox representada na Figura 9, onde as amostras testadas, que apresentam vitamina C (ácido ascórbico), sofrem oxidação e atuam como um agente redutor da solução de iodo, que ao ser reduzido forma o ácido iodídrico (SKOOG, *et al.*, 2009; BACCAN, 2001).

**Figura 9.** Representação esquemática da reação redox, entre o ácido ascórbico e a solução de iodo complexada com o amido.



Vale ressaltar que, apesar de algumas amostras inibirem a coloração do dispositivo, indicando a presença de ácido ascórbico, essa afirmação não deve ser realizada, uma vez que muitas amostras alimentícias possuem outras espécies antioxidantes e que também podem

responder ao teste com o dispositivo redox. Conforme mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Alguns exemplos de antioxidantes presentes em alguns alimentos.

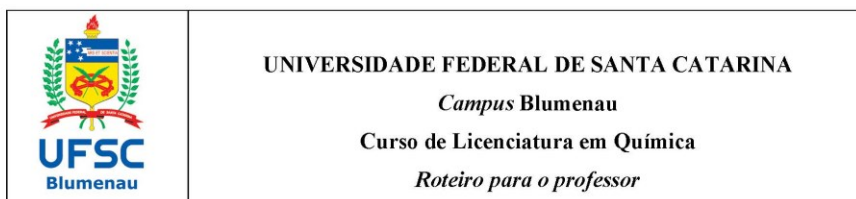
Alimento	Antioxidante	Alimento	Antioxidante
Mamão	$\beta$ -caroteno	Uva	Ácido elágico
Brócolis	Flavonoides	Salsa	Flavonoides
Laranja	Vitamina C	Morango	Vitamina C
Chá	Catequinas	Curry	Curcumina
Vinho	Quercetina	Noz	Polifenóis
Cenoura	$\beta$ -caroteno	Espinafre	Clorofilina
Tomate	Carotenoides	Repolho	Taninos
Cravo	Eugenol	Hortelã	Timol.
Orégano	Fenilpropanoides	Hibisco	Polifenóis

Fonte: Adaptado de BIANCHI; ANTUNES, 1999.

## REFERÊNCIAS

- BACCAN, N.; **Introdução a semimicroanálise qualitativa**. 3a ed. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2001.
- COSTA, M. *et al.* Low cost, safe, disposable, rapid and self-sustainable paper-based platform for diagnostic testing: Lab-on-paper. **Nanotechnology**, v. 25, n.9, p. 1 – 12, 2014.
- MARTINEZ, A. W.; PHILLIPS, S. T.; WHITESIDES, G. M.; CARRILHO, E. Diagnostics for the Developing World: Microfluidic paper based analytical Devices. **Analytical Chemistry**, [S. l.], v. 82, p. 3 – 10, 2010.
- MORBIOLI G. G. *et al.* Technical aspects and challenges of colorimetric detection with microfluidic paper-based analytical devices ( $\mu$ PADs) – A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 970, p. 1 – 22, 2017.
- SKOOG, D. A., *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- XU, Y. *et al.* Lab-on-paper micro- and nano-analytical devices: Fabrication, modification, detection and emerging applications. **Microchimica Acta**, v. 183, n. 5, p. 1521 – 1542, 2016.
- WHITESIDES, G. M. The origins and the future of microfluidics. **Nature**, v. 442, n. 7101, p. 368 – 373, 2006.

APÊNDICE 3 – Roteiro do professor para a aplicação do dispositivo redox tipo flor intitulado: Alimentos guardados na geladeira mantêm as mesmas características?



Prezado (a) professor (a), esse roteiro apresenta uma sugestão de aplicação de um dispositivo desenvolvido durante um trabalho de conclusão de curso. Ele pode ser proposto durante suas aulas utilizando a estratégia experimental. Este experimento não necessita de estrutura de laboratório, os reagentes utilizados pode ser facilmente adquiridos no comércio local, mas para a realização há necessidade da calibração do equipamento responsável para a construção do dispositivo.

Neste roteiro consta uma situação problema para ser apresentada durante suas aulas, em que o estudante pode se identificar com o episódio de esquecer um alimento na geladeira por um determinado tempo. Essa situação pode instigar o estudante a buscar a solução do problema, para verificar se as características dos alimentos realmente se alteram, e proporcionar exemplos do dia a dia do estudante com a química.



**Situação problema**

Toda vez que Paula vai ao supermercado, realiza compras em excesso. Na sua última ida, comprou muitas frutas e verduras. Não sabendo o que fazer com todos os alimentos adquiridos, realizou uma pesquisa na internet em busca de receitas com limão, laranja e

pimentão, pois eram os produtos que estavam em maior quantidade. Durante a pesquisa, ela observou vários comentários sobre atividades comuns entre estes alimentos, tais como combate ao envelhecimento e a resfriados, por serem ricos em vitamina C, o que lhes confere uma atividade antioxidante. No mesmo dia ela preparou os sucos com as frutas e fez uma salada com o pimentão. Mas acabou não utilizando tudo e guardou na geladeira os pimentões cortados ao meio e o restante dos sucos de limão e laranja. Uma semana depois ela lembrou que os alimentos ainda estavam na geladeira e queria saber se a atividade antioxidante pesquisada ainda era a mesma ou se havia diminuído. Naquela semana, procurou a sua professora de química para tirar essa dúvida. A professora viu uma ótima oportunidade para realizar um experimento com a turma, que consistia na utilização de um dispositivo redox para determinar a atividade antioxidante. Para tanto, a professora solicitou que Paula levasse para a aula os alimentos armazenados na geladeira por uma semana, enquanto ela levaria novos alimentos.

#### **Questionamentos para realizar com os estudantes após a leitura da situação problema**

Na sua opinião, você acredita que a atividade antioxidante dos alimentos se alterou de uma semana para a outra? Por quê?

Você já ouviu falar em antioxidantes? Sabe como esses compostos atuam no nosso organismo?

Os questionamentos após a situação problema possibilitam investigar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a atuação das espécies antioxidantes de forma fenomenológica no nosso organismo e a partir destes, você poderá realizar um maior aprofundamento e/ou retorno de certos conceitos. Há também um questionamento para que o estudante busque a resposta a partir do experimento, incentivando inicialmente a criação de hipóteses, e posteriormente a comprovação ou refutação de tal.

#### **Preparo dos dispositivos redox:**

Veja seu tempo disponível para a aplicação desse experimento, destaca-se a importância da construção dos dispositivos pelos estudantes. Caso você não tenha tempo para a construção durante as aulas, prepare as soluções de iodo e forneça os modelos dos dispositivos já com a barreira hidrofóbica construída. Para a construção dos dispositivos acompanhe o roteiro inserido no apêndice 2 intitulado “*Construção do dispositivo redox*”

*tipo flor*". Para a realização do experimento sugere-se a construção de pelo menos 6 dispositivos.

Não se esqueça de solicitar para o estudante anotar as concentrações do iodo depositadas nas zonas de análise ("pétalas"). Utilize a tabela abaixo para a anotação.

"Pétala"	[iodo] (mol L <sup>-1</sup> )
Branco	-
0 (estoque)	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

#### **Preparo das amostras**

As amostras selecionadas devem ser preparadas da seguinte forma: os sucos de frutas (limão e laranja) devem ser extraídos, utilizando um espremedor de frutas ou manualmente. Já o extrato do pimentão deve ser preparado por meio de trituração em liquidificador, utilizando meio pimentão amarelo (aproximadamente 80 g) + 50 mL de água.

*Observação:* Lembre-se que para esses estudos há a necessidade de utilizar amostras armazenadas em geladeira por cerca de 1 semana e também amostras preparadas no mesmo dia da análise.

#### **Realização do experimento**

Pegue o dispositivo redox previamente preparado, e no centro dele aplique 80 µL das amostras (conforme mostrado na Figura 1). Lembre-se que se utilizar a seringa de insulina, a mesma deve ser "aferida" previamente (na seringa marca SR, 1,1 cm equivale a aproximadamente 80 µL, 1,2 cm equivale a 100 µL). Anote no dispositivo a amostra que foi testada. Não se esqueça de deixar o dispositivo sobre uma tampa ou outra superfície que não dificulte a capilaridade do sistema.

Figura 1. Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste semiquantitativo para antioxidantes (onde 0-6 corresponde a diferentes concentrações de iodo).



### Resultado obtidos

Anote aqui a ordem realizada dos testes e a faixa de concentração de antioxidantes (expresso em vitamina C) encontrada para cada amostra. Essa faixa de concentração é definida a partir das zonas de análise (“pétalas”) que foram descoloridas (total ou parcialmente). Maiores informações estão apresentadas no roteiro do Apêndice 2, sobre a construção dos dispositivos redox tipo flor.

Amostras	Preparado	Número de poços inibidos	Faixa de antioxidantes encontradas
Ex. Suco de laranja	uma semana antes	....	....
Suco de laranja	no mesmo dia	....	....

### Questionamentos para serem realizados com os estudantes após a realização do experimento.

1. Tendo em vista a descoloração (ou inibição da coloração) das zonas de análise (região de reação), o que foi observado durante a realização do experimento? Como você explicaria os resultados?
2. Pesquise sobre o funcionamento do dispositivo, propondo uma explicação para o “desaparecimento” da coloração das zonas de análise. Apresente a equação química que represente esse processo.
3. Qual a importância da vitamina C para o nosso organismo?

4. Além da vitamina C, você conhece outras espécies antioxidantes? Caso desconheça, faça uma pesquisa e tente encontrar pelo menos 5 espécies antioxidantes e desenhe suas estruturas químicas. Pesquise também quais os alimentos contêm estas espécies antioxidantes.
5. Agora proponha uma explicação para a Paula a respeito da variação da concentração de antioxidantes em alimentos armazenados por longos períodos (e expostos ao ar), comparado a alimentos frescos (recém preparados).
6. Discuta brevemente sobre antioxidantes e sua importância no organismo humano.

#### **Possíveis discussões após a apresentação dos questionamentos**

Através dos questionamentos listados após o experimento, pode-se fazer a introdução dos conceitos de substâncias oxidantes e redutoras, como também a identificação dos estados de oxidação de cada componente, expondo, por exemplo, a equação química envolvida no experimento. Além disso, pode apresentar a diferença entre as reações redox de substâncias inorgânicas (como o  $I_2$ ) e o comportamento redox de substâncias orgânicas (a vitamina C), que são mais complexas, pois, podem envolver vários átomos em uma única molécula com diferentes estados de oxidação. Assim, é possibilitado ao professor trabalhar o poder redutor dessas substâncias, e por consequência, sua facilidade de oxidação, o que será evidenciado pelo experimento.

As outras perguntas possibilitam trabalhar a importância da vitamina C, em que o professor pode apresentar os aspectos históricos e a sua importância na dieta alimentar, exemplificando a doença do escorbuto. Outro aspecto que pode ser trabalhado é a estrutura da vitamina C, e dependendo do ano do ensino médio selecionado para aplicação da proposta, pode vir a contribuir para a compreensão de grupos funcionais orgânicos. Pode-se também abordar radicais livres, que em muitos casos, são combatidos no nosso organismo pela dieta com alimentos ricos em antioxidantes. Destaca-se a importância de apresentação de outras estruturas de compostos antioxidantes, mostrando que existem vários outros exemplos além da vitamina C. Cabe destacar que apesar de este experimento ter utilizado três amostras alimentícias, o professor pode trocar as amostras conforme disponibilidade local e época do ano.

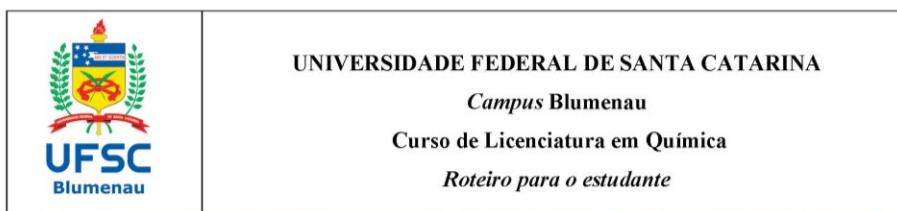
**Dicas para a realização do experimento**

Esse experimento tem como foco a aplicação para o ensino médio, mas também pode ser aplicado no ensino superior nas disciplinas introdutórias de química.

No apêndice 4 está inserido o roteiro para o aluno, nele está apresentada a situação problema e o desenvolvimento do experimento. Os questionamentos listados aqui servirão de norteio para trabalhar os conceitos envolvidos. Cabe a você professor, a partir da disponibilidade de tempo, das características dos estudantes, direcionar conforme as condições do contexto de ensino-aprendizagem, o nível dos conceitos a serem abordados.



APÊNDICE 4 – Roteiro do estudante para a aplicação do dispositivo redox tipo flor intitulado: Alimentos guardados na geladeira mantêm as mesmas características?



Toda vez que Paula vai ao supermercado, realiza compras em excesso. Na sua última ida, comprou muitas frutas e verduras. Não sabendo o que fazer com todos os alimentos comprados realizou uma pesquisa na internet em busca de receitas com limão, laranja e pimentão, pois eram os produtos que ela havia comprado em maior quantidade. Durante a pesquisa, ela observou vários comentários sobre atividades comuns entre estes alimentos, tais como combate ao envelhecimento e a resfriados, por serem ricos em vitamina C, o que lhes confere uma atividade antioxidante. No mesmo dia ela preparou os sucos com as frutas e fez uma salada com o pimentão. Mas acabou não utilizando tudo e guardou na geladeira os pimentões cortados ao meio e o restante dos sucos de limão e laranja. Uma semana depois ela lembrou que os alimentos ainda estavam na geladeira e queria saber se a atividade antioxidante pesquisada ainda era a mesma ou se havia diminuído. Naquela semana, procurou a sua professora de química para tirar essa dúvida. A professora viu uma ótima oportunidade para realizar um experimento com a turma, que consistia na utilização de um dispositivo redox para determinar a atividade antioxidante. Para tanto, a professora solicitou que Paula levasse para a aula os alimentos armazenados na geladeira por uma

semana, enquanto ela levaria novos alimentos. A professora solicitou que todos os estudantes auxiliassem no experimento.

Você está sendo convocado para a realização desse experimento e auxiliar Paula a desvendar essa situação. Para resolver isso realizaremos o preparo das amostras e a construção dos dispositivos redox. Junte-se com seus colegas e siga o roteiro.

#### **Preparo dos dispositivos redox:**

Para a realização do experimento, inicialmente construa o dispositivo redox tipo flor. Veja se seu professor já o construiu, caso o contrário, acompanhe a construção pelo roteiro inserido no anexo. Consulte o professor a respeito do modelo de dispositivo que será utilizado e a quantidade necessária (sugere-se a construção de pelo menos 6 dispositivos).

Não se esqueça de anotar as concentrações do iodo depositadas nas zonas de análise (“pétalas”). Utilize a tabela abaixo para a anotação.

“Pétala”	[iodo] (mol L <sup>-1</sup> )
Branco	-
0 (estoque)	
1	
2	
3	
4	
5	
6	

#### **Preparo das amostras**

As amostras selecionadas devem ser preparadas da seguinte forma: os sucos de frutas (limão e laranja) devem ser extraídos, utilizando um espremedor de frutas ou manualmente. Já o extrato do pimentão deve ser preparado por meio de trituração em liquidificador, utilizando meio pimentão amarelo (aproximadamente 80 g) + 50 mL de água.

*Observação:* Lembre-se que para esses estudos há a necessidade de utilizar amostras armazenadas em geladeira por cerca de 1 semana e também amostra preparadas no mesmo dia da análise.

### **Realização do experimento**

Pegue o dispositivo redox previamente preparado, e no centro dele aplique 80  $\mu$ L das amostras (conforme mostrado na Figura 1). Lembre-se que se utilizar a seringa de insulina, a mesma deve ser “aferida” previamente (na seringa marca SR, 1,1 cm equivale a aproximadamente 80  $\mu$ L). Anote no dispositivo qual a amostra foi testada. Não se esqueça de deixar o dispositivo sobre uma tampa ou outra superfície que não dificulte a capilaridade do sistema.

**Figura 1.** Representação do dispositivo de análise em papel e sua aplicação na realização do teste semiquantitativo para antioxidantes (onde 0 - 6 corresponde a diferentes concentrações de iodo).



### **Resultados obtidos**

Anote aqui a ordem realizada dos testes e a faixa de concentração de antioxidantes (expresso em vitamina C) encontrada para cada amostra. Essa faixa de concentração é definida a partir das zonas de análise (“pétalas”) que foram descoloridas (total ou parcialmente). Maiores informações estão apresentadas no roteiro em anexo, sobre a construção dos dispositivos redox.

<b>Amostras</b>	<b>Preparado</b>	<b>Número de poços inibidos</b>	<b>Faixa de antioxidantes encontradas</b>
Ex. Suco de laranja	uma semana antes	....	....
Suco de laranja	no mesmo dia	....	....

Agora que você já construiu o dispositivo e testou as amostras, retornaremos a problemática inicial, os alimentos mantêm as mesmas características?