

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA – LICENCIATURA**

**Julys Pablo Atayde Fernandes**

**INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA COM MATERIAIS  
ALTERNATIVOS PARA AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA:  
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

**João Pessoa – PB  
2020**

**Julys Pablo Atayde Fernandes**

**INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA COM MATERIAIS  
ALTERNATIVOS PARA AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA:  
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Química e submetido ao Curso de Graduação em Química – Licenciatura, da Universidade Federal da Paraíba.

**ORIENTADOR: Claudio Gabriel Lima Junior**

**João Pessoa – PB**

**2020**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

F363i Fernandes, Julys Pablo Atayde.

Instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de química : uma revisão integrativa / Julys Pablo Atayde Fernandes. - João Pessoa, 2020.

41 f. : il.

Orientação: Cláudio Gabriel Lima Junior.

TCC (Graduação/Licenciatura Plena em Química) - UFPB/CCEN.

1. Ensino de Química - Análise de tendências. 2. Experimentação em Química. 3. Instrumentação dos laboratórios. 4. Química experimental e de pesquisa. I. Lima Junior, Cláudio Gabriel. II. Título.

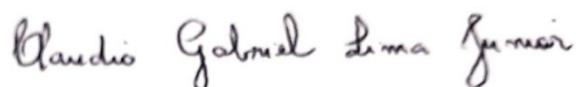
UFPB/CCEN

CDU 542.06(043.2)

# INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA COM MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do grau de Licenciado em  
Química e submetido ao Curso de  
Graduação em Química – Licenciatura, da  
Universidade Federal da Paraíba.

Data de aprovação: 23 / 11 / 2020



---

Prof. Claudio Gabriel Lima Junior (Presidente/Orientador)



---

Prof.<sup>a</sup> Liliansa de Fátima Bezerra Lira De Pontes (UFPB)



---

Prof. Vagner Bezerra dos Santos (UFPE)

## RESUMO

A Química é uma ciência inerentemente experimental e, para a sua completa compreensão, aulas práticas são essenciais. A experimentação, além de conferir um caráter mais concreto para a Química, permite que os alunos desenvolvam várias habilidades, como por exemplo o pensamento crítico, elaboração de hipóteses e tomada de decisões, ao mesmo tempo que favorece interações sociais. Nesse contexto, o uso de instrumentos eletrônicos pode favorecer o desenvolvimento dessas habilidades. Neste trabalho, realizou-se uma revisão integrativa com o objetivo de investigar a literatura científica sobre instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química no Brasil nos últimos 10 anos. Após uma busca bibliográfica e a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 18 artigos foram selecionados, cuja análise resultou em duas categorias: "*Instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química*" e "*Estratégias didáticas empregadas em aulas experimentais de Química*". Os resultados deste trabalho indicaram que todos os instrumentos propostos foram projetados com materiais alternativos de baixo custo, favorecendo seu uso em ambientes escolares com poucos recursos financeiros. A maioria deles foram colorímetros e fotômetros tendo como principais componentes scanners e telefones celulares para a obtenção de imagens digitais. Além disso, a maioria das aulas práticas com esses instrumentos foram ministradas no Ensino Superior, as quais, embora possuíssem alguns aspectos investigativos, foram apresentadas como sequências lineares para guiar os alunos ao longo das atividades. Alguns estudos se dedicaram ao projeto de instrumentos empregando tecnologia assistiva para deficientes visuais, a maioria deles com a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino. Também foi possível inferir que a grande maioria dos estudos selecionados não incorporou as aulas práticas em uma metodologia didática mais abrangente, como por exemplo uma sequência didática.

**Palavras-chave:** Ensino de Química, experimentação, instrumentação, análise de tendências.

## ABSTRACT

Chemistry is an inherently experimental science, and practical classes are essential to completely understand it. Experimentation, besides giving a more concrete character to Chemistry, allows students to develop various skills, such as critical thinking, hypothesis elaboration, and decision making, while favoring social interactions. In this context, the use of electronic instruments can favor the development of these skills. In this work, an integrative review was carried out with the objective of investigating the scientific literature on electronic instrumentation with alternative materials for experimental chemistry classes in Brazil over the past 10 years. After a literature search and the application of inclusion and exclusion criteria, 18 articles were selected, whose analysis resulted in two categories: "*Electronic instrumentation with alternative materials for experimental chemistry classes*" and "*Didactic strategies employed in experimental chemistry classes*". The results of this study indicated that all the proposed instruments were designed with low-cost, alternative materials, favoring their use in school environments with few financial resources. Most of them were colorimeters and photometers having scanners and cell phones as main components, which were used to capture digital images. In addition, most of the practical classes with these instruments were carried out in Higher Education institutions, which, although they had some investigative aspects, were presented as linear sequences to guide students through the activities. Some studies focused on the design of instruments employing assistive technology for the visually impaired, most of them with the electronic prototyping platform Arduino. It was also possible to infer that the great majority of the selected studies did not incorporate the practical classes in a broader teaching methodology, for example a didactic sequence.

**Keywords:** Chemistry teaching, experimentation, instrumentation, trend analysis.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1	OBJETIVOS .....	10
1.1.1	Objetivo Geral.....	10
1.1.2	Objetivos específicos.....	10
1.2	A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA E CIÊNCIAS .....	10
1.2.1	Tipos de atividades experimentais .....	10
1.2.2	O papel da experimentação para o ensino de Química e Ciências .....	12
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
2.1	TIPO DE ESTUDO .....	16
2.2	UNIVERSO E AMOSTRA.....	17
2.2.1	Coleta e análise de dados e apresentação de resultados .....	17
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
3.1	INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA COM MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA.....	30
3.2	ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS EMPREGADAS EM AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA .....	34
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Instrumentos eletrônicos propostos nos artigos selecionados. ....	30
<b>Figura 2</b> – Detectores utilizados nos instrumentos propostos pelos artigos selecionados. ....	31
<b>Figura 3</b> – Níveis e etapas de ensino em que os instrumentos propostos podem ser aplicados. ....	33
<b>Figura 4</b> – Metodologias didáticas utilizadas nos estudos selecionados. ....	34

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** – Descrição dos estudos selecionados de acordo com ano de publicação, título e periódico. .... 18
- Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes. .21

## 1 INTRODUÇÃO

A Química é um tipo de linguagem que deve facilitar a leitura do mundo (CHASSOT, 2018). O mundo, por sua vez, constitui-se de fatos naturais que podem ser observados, estudados, interpretados e sistematizados. O ensino tradicional de Química, centrado unicamente na transmissão e interpretação mecânicas de conhecimentos acumulados por meio de aulas expositivas, induz os alunos a meramente internalizar e conseqüentemente reproduzir os conteúdos ministrados (LIBÂNEO, 2018). O extremo enfoque no uso de fórmulas matemáticas, a memorização de conceitos e nomenclaturas, e a falta de contextualização frequentemente dificultam a aprendizagem dos alunos, desmotivando-os.

A experimentação configura-se como uma eficiente estratégia para estimular o questionamento e a investigação numa perspectiva contextualizada e interdisciplinar. Os alunos podem, através dela, tomar decisões conscientes para a resolução de problemas reais vinculados ao contexto social no qual eles estão inseridos (GUIMARÃES, 2009). Além disso, atividades experimentais frequentemente exibem um caráter lúdico, interessante, motivador, e essencialmente vinculado aos sentidos, características que favorecem o aprendizado e o envolvimento nos temas em pauta (GIORDAN, 1999). Elas podem ter diversas funções na escola, como a de ilustrar princípios científicos, desenvolver atividades práticas, testar hipóteses, familiarizar-se com fenômenos e desenvolver habilidades investigativas, sendo esta última a mais relevante (IZQUIERDO; SANMARTÍ; ESPINET, 1999).

Muitos conceitos importantes sobre análise química podem ser explorados através da experimentação, especialmente envolvendo instrumentação eletrônica voltada para a aquisição e processamento de dados experimentais. Todavia, o alto custo de aquisição e operação de instrumentos de bancada comerciais torna seu uso inviável em escolas sem laboratórios de ensino ou limitadas financeiramente. Instrumentos eletrônicos portáteis e fabricados com materiais de baixo custo (CLIPPARD *et al.*, 2016; HOSKER, 2018; NÉEL *et al.*, 2014; PINO *et al.*, 2019) tornam-se, nesse contexto, poderosas alternativas para a viabilização de experimentos de forma rápida, interativa e significativa sob a mediação de professores.

Assim, considerando a importância da experimentação com instrumentos alternativos para o ensino de Química, o objetivo deste trabalho foi investigar a

literatura científica sobre instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química no Brasil nos últimos 10 anos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi investigar a literatura científica sobre instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química no Brasil nos últimos 10 anos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, este trabalho buscou:

- Realizar uma busca bibliográfica;
- Obter uma amostra de publicações científicas através da aplicação de critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos;
- Ler e analisar as publicações científicas selecionadas para elaborar categorias de análise;
- Descrever e discutir os resultados.

## 1.2 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA E CIÊNCIAS

As metodologias científicas se consolidaram pela prática da experimentação a partir do século XVII, requerendo importantes habilidades como a capacidade de raciocínio, indução e dedução. Inicialmente, o trabalho experimental nas escolas originou-se da influência que esse trabalho possuía nas universidades e tinha por objetivo melhorar a aprendizagem do conteúdo científico já que os alunos não conseguiam aplicá-los em situações práticas (GALIAZZI *et al.*, 2001).

### 1.2.1 Tipos de atividades experimentais

Muitas são as maneiras de agrupar as atividades experimentais. Enquanto algumas abordagens focam-se na exposição e confirmação de leis estabelecidas, outras visam à estimulação da criatividade e reflexão. (ARAÚJO; ABIB, 2003) classificaram as atividades experimentais em três tipos: atividades de demonstração, atividades de verificação e atividades de investigação.

Muitos autores consideram que a experimentação didática (em um ambiente escolar) derivou-se da experimentação científica, que foi adaptada ao longo dos anos para se adequar aos objetivos do ensino de Ciências (FORQUIN, 1992).

#### **1.2.1.1 Atividades de demonstração**

Nas atividades de demonstração, os professores executam os experimentos diante dos alunos que os observam passivamente. Por causa disso, os professores são os principais agentes nessas atividades, que podem ser realizadas no início de uma aula expositiva para ilustrar alguns aspectos do tema a ser abordado e despertar o interesse dos alunos ou no seu fim para estimular os alunos a relembrem os assuntos apresentados (ARAÚJO; ABIB, 2003).

Apesar de suas limitações, experimentos demonstrativos são recomendados quando é impossível a formação de vários grupos de alunos, especialmente em casos de escassez de material; quando não há espaço apropriado para acomodar todos os participantes da experiência; ou ainda quando o professor enfrenta limitações temporais. Ainda assim, experimentos demonstrativos podem criar ou fortalecer vínculos entre alunos e professores e tal interação social favorece a aprendizagem como um todo (ARAÚJO; ABIB, 2003; GASPAS; MONTEIRO, 2005).

#### **1.2.1.2 Atividades de verificação**

As atividades de verificação buscam verificar ou confirmar alguma lei ou teoria. Embora tais atividades produzam resultados previsíveis e de fácil interpretação, elas permitem aos alunos observar fenômenos experimentais, associá-los aos conceitos teóricos aprendidos em sala de aula e formular generalizações (ARAÚJO; ABIB, 2003). Como é necessário que o conteúdo seja abordado previamente, essa modalidade experimental deve ser realizada após uma aula expositiva (OLIVEIRA, J. R. S. de, 2010).

Experimentos de verificação tornam o ensino mais realista e palpável para os alunos porque eles participam ativamente do processo. Além disso, eles podem aprender novas técnicas e aprender a manusear equipamentos e seguir instruções. Como os resultados são previsíveis, os professores podem supervisionar os experimentos, resolver eventuais problemas e avaliar o desempenho dos alunos mais facilmente. Experimentos de verificação simples são especialmente adequados para alunos pouco familiarizados com aulas experimentais (OLIVEIRA, J. R. S. de, 2010).

### **1.2.1.3 Atividades de investigação**

Nas atividades de investigação, os professores atuam apenas como mediadores ou facilitadores enquanto os alunos ocupam uma posição mais ativa em todas as etapas da investigação, desde a análise de um problema até a formulação de uma possível solução para ele. Assim, essas atividades estimulam os estudantes a pensarem criticamente, coletar dados e elaborar e testar hipóteses (OLIVEIRA, J. R. S. de, 2010).

Os professores não devem fornecer procedimentos automáticos para ajudarem os alunos durante as atividades de investigação, mas permitir que eles identifiquem um problema e, baseados na reflexão e na tomada de decisões, o resolvam (CACHAPUZ *et al.*, 2005).

Ao contrário dos tradicionais, os experimentos de investigação são tão flexíveis que dispensam o uso de roteiros fechados e que limitem as capacidades de intervenção e/ou modificação dos alunos ao longo do processo. Por isso, experimentos de investigação demandam mais tempo para serem elaborados e sua aplicação pode durar mais de uma aula. Adicionalmente, elas não se limitam aos conteúdos abordados previamente em aulas expositivas. Os conteúdos podem ser discutidos dentro do próprio contexto da atividade de acordo com os questionamentos e desenvoltura dos alunos (OLIVEIRA, J. R. S. de, 2010).

### **1.2.2 O papel da experimentação para o ensino de Química e Ciências**

Ainda com forte presença nas escolas e universidades, o ensino tradicional baseia-se na atuação de educadores compromissados apenas com a transmissão de uma significativa quantidade de informações teóricas (SCHNETZLER, 2010). FREIRE (2019) definiu esse estilo de ensino como "educação bancária" no qual os educadores (depositantes) "depositariam" informações nos estudantes (depositários) por meio de metodologias teóricas de transmissão de conteúdo. Assim, os alunos, sem nenhum questionamento, recebem passivamente os conceitos, caracterizando uma aprendizagem mecânica, sem significado, de fácil esquecimento e voltada apenas para provas (MOREIRA, 2011, 2006).

Como contraponto à aprendizagem mecânica, Ausubel, ao estudar a forma como as informações se organizam cognitivamente nos alunos, desenvolveu uma teoria com foco na aprendizagem significativa (ZOMPERO; LABURÚ, 2010). Para que

ela ocorra, é necessário que novas informações estabeleçam relações com imagens, símbolos, conceitos ou proposições relevantes e preexistentes na estrutura cognitiva de um indivíduo através de relações não-arbitrárias e substantivas (GIANI, 2010; ZOMPERO; LABURÚ, 2010). Assim como o conhecimento novo precisa enriquecer o conhecimento prévio, e este também necessita significar àquele (SANTOS, L. R. dos; MENEZES, 2020). Tudo aquilo que o aluno já sabe constitui o fator mais importante para a aprendizagem (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Porém, caso ele não esteja motivado o suficiente, o processo de aprendizagem será puramente mecânico e memorístico.

Ao longo das últimas décadas, as atividades experimentais vêm ganhado considerável notoriedade no ensino de Ciências, especificamente no ensino de Química devido às suas contribuições psicológicas, sociológicas e cognitivas para o processo de ensino e aprendizagem (GIORDAN, 1999). Muitos autores defendem que essas atividades constituem um vantajoso recurso pedagógico capaz de auxiliar a construção de conceitos (FERREIRA, L. H.; HARTWIG; OLIVEIRA, 2010).

Importantes competências e habilidades, como por exemplo interpretar fenômenos químicos e relacioná-los a questões éticas e morais dentro de um contexto socioeconômico, podem ser desenvolvidas durante aulas experimentais, contribuindo para a formação de cidadãos críticos. A exploração de temas transversais e multidisciplinares (meio ambiente, tecnologias recentes, agroindústria, indústria química, etc.) contribuem para esse processo (SANTOS, L. R. dos; MENEZES, 2020).

Conforme MACHADO (2004), o processo de assimilação dos conhecimentos químicos envolve três aspectos importantes:

- **Aspectos fenomenológicos:** incluem conhecimentos passíveis de visualização concreta, bem como o estudo dos materiais (análise ou determinação de suas propriedades) e suas transformações;
- **Aspectos teóricos:** incluem os conhecimentos no âmbito microscópico (informações de natureza atômico-molecular) envolvendo, portanto, explicações baseadas em termos abstratos como átomo, molécula, íon, elétron;
- **Aspectos representacionais:** envolvem os conteúdos de natureza simbólica tais como fórmulas e equações químicas.

Esses aspectos podem (e devem) ser explorados simultaneamente em aulas experimentais, as quais configuram-se como uma estratégia funcional para o

desenvolvimento de situações-problemas contextualizados e de formas investigativas para solucioná-los (GUIMARÃES, 2009). Entretanto, MACHADO (2004) argumentou que os professores de Química têm dado muita ênfase didática aos aspectos representacionais e teóricos:

Mas, o que a escola, o livro didático e o professor têm feito? Trabalhado descontextualizadamente somente os níveis representacional e teórico e, principalmente, o nível representacional, incluindo aí os aspectos matemáticos desse nível [...]. A ausência de fenômenos e seus contextos na sala de aula pode fazer com que os alunos tomem por "reais" as fórmulas das substâncias, as equações químicas e os modelos para a matéria (MACHADO, 2004, p. 173).

No Brasil, um número consideravelmente elevado de professores ainda se baseia em correntes educacionais tradicionais que promovem conteúdos desconectados entre si e distantes da realidade dos alunos (STRACK; MARQUES; DEL PINO, 2009). Essa forma de ensino desmotiva os alunos, prejudicando o processo de ensino-aprendizagem, pois prioriza apenas a retenção de informações para a aprovação escolar ao passo que se distancia do mundo cultural e tecnológico (SCHNETZLER, 2004). FREIRE (1997) defende que não é possível compreender a teoria sem experienciá-la. Conseqüentemente, fica ao cargo dos professores de Ciências desenvolverem atividades lúdicas ou experimentais para observação das manifestações concretas dos modelos teóricos. Atividades experimentais motivam os alunos, capturam sua atenção, aprimoram sua capacidade de observação e registro, estimulam sua criatividade e capacidade de tomada de decisões e aprimoram suas habilidades manipulativas. Além disso, essas atividades facilitam a compreensão da natureza da ciência e as relações desta com tecnologias e sociedades, além de permitir a apreensão de conceitos científicos e detecção e correção de erros conceituais (OLIVEIRA, J. R. S. de, 2010). Ao promover a construção do conhecimento através do questionamento, a experimentação permite que o ensino fragmentado e descontextualizado seja superado (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

A reforma curricular da educação brasileira na década de 1960 marcou o início da didática aplicada ao ensino de Ciências. Desde então, o processo de ensino-aprendizagem vem recebendo importantes contribuições, como por exemplo a incorporação de aulas experimentais tanto para introduzir como para abordar

problemas reais e a formação de grupos em sala durante a realização e discussão dos experimentos (SCHNETZLER, 2004).

O professor é parte integrante do processo de ensino-aprendizagem na experimentação. Segundo a teoria sociointeracionista proposta por Vygotsky, os alunos aprendem melhor quando eles interagem entre si e com o professor. Este exerce o papel de mediador entre os alunos e o conhecimento adquirido por meio de trocas com o ambiente. Para Vygotsky, aprendizagem e sociedade são indissociáveis, e a escola constitui um espaço social onde esse processo ocorre (SIRGADO, 2000). Além disso, os alunos, em sua condição de sujeitos sociais, podem utilizar sua evolução sócio-histórica, linguagens, valores e experiências em grupo, potencializando seu desenvolvimento. AUSUBEL (2000) destaca que o conhecimento prévio é peça fundamental para a aprendizagem significativa.

Observa-se, assim, a importância da experimentação como ferramenta para aprendizagem sob uma perspectiva integral, multidisciplinar e conectada. Aulas experimentais possuem o poder de despertar a curiosidade e a investigação, características essenciais para a construção do conhecimento científico e da formação do pensamento (GIORDAN, 1999).

Apesar de muitos professores de Química reconhecerem a importância didática das atividades experimentais, poucos se esforçam para implementá-las ou, quando o fazem, limitam-se a apresentar atividades de demonstração ou verificação. Dentre as principais queixas dos docentes, destacam-se a inexistência de laboratórios, a escassez de recursos, e a falta de tempo para o preparo das aulas (GONÇALVES, 2005). Contudo, experimentos utilizando materiais, equipamentos e instrumentos alternativos e de baixo custo estão se tornando uma realidade cada vez mais próxima da prática docente (FERREIRA, A. P., 2019; HIRDES, 2015; OLIVEIRA, P. C. C.; LEITE, 2016; SILVA, J. B. da, 2018).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 TIPO DE ESTUDO

Este trabalho é uma revisão integrativa da literatura, pois visou reunir as informações pré-existentes sobre a instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química no Brasil. Revisões integrativas possuem a finalidade de sistemática e ordenadamente reunir e sintetizar resultados de pesquisas sobre um determinado tema ou questão, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento do tema investigado (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008).

Estudos de importante relevância o avanço na área estudada e para a tomada de decisões são analisados nas revisões integrativas. Além de proporcionar um resumo do conhecimento sobre um determinado tema pela sintetização de estudos já publicados, esse tipo de revisão permite a determinação de possíveis falhas que podem ser corrigidas durante o desenvolvimento de novos estudos e inferir conclusões gerais (MENDES; SILVEIRA; GALVÃO, 2008).

De acordo com ROMAN e FRIEDLANDER (1998), a revisão integrativa de pesquisa ou pesquisa integrativa possibilita ao interessado reconhecer os profissionais que mais investigam um determinado tema, suas áreas de atuação e suas contribuições mais relevantes; permite distinguir resultados científicos de opiniões e ideias; permite descrever os mais recentes avanços no campo do conhecimento; e promove o impacto da pesquisa sobre a prática profissional. Com esse método é possível fazer generalizações sobre diferentes temas estudados por vários pesquisadores em diferentes lugares e momentos, mantendo os interessados atualizados e impactando positivamente a prática cotidiana.

BOTELHO, CUNHA e MACEDO (2011) entendem que as seguintes etapas são necessárias para a elaboração de uma revisão integrativa: formulação de hipóteses ou do tema central: identificação do tema e seleção da questão de pesquisa, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados, categorização dos estudos selecionados, análise e interpretação dos resultados e apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

## 2.2 UNIVERSO E AMOSTRA

Publicações científicas disponíveis nas bases de dados online oferecidas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) à comunidade brasileira constituíram o universo deste estudo.

Os critérios de inclusão foram artigos científicos sobre o tema deste trabalho, escritos em Português ou Inglês, publicados nos últimos 10 anos e disponíveis online na íntegra. Monografias, dissertações, teses, trabalhos apresentados em eventos científicos, artigos repetidos e artigos indisponíveis na íntegra foram excluídos. Os seguintes descritores foram utilizados em combinação com o operador Booleano AND: experimentação, instrumento, equipamento, materiais alternativos, educação, alunos, ensino, química, *equipment*, *instrument*, *students*, *teaching* e *chemistry*. Um total de 23 publicações sobre o tema deste trabalho foram encontradas, das quais 18 foram selecionadas para compor a amostra final após a aplicação de todos os critérios de inclusão e exclusão.

### 2.2.1 Coleta e análise de dados e apresentação de resultados

A pesquisa bibliográfica ocorreu entre agosto e setembro de 2020 utilizando a base de dados Google Acadêmico com acesso às publicações científicas permitido pelo portal da CAPES. A seguinte questão norteadora foi desenvolvida: *"como a instrumentação eletrônica com materiais alternativos tem sido usada em práticas experimentais no ensino de Química no Brasil?"*

A coleta de dados ocorreu durante a leitura dos artigos selecionados com o intuito de caracterizá-los conforme o tema deste trabalho. Assim, as seguintes informações foram extraídas para posterior análise: título do artigo, ano de publicação, periódico, autores, estratégia(s) pedagógica(s), público alvo, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

A análise dos resultados foi realizada de forma descritiva pela apresentação da síntese dos estudos selecionados e comparação entre eles com o objetivo de responder à questão de pesquisa. Para facilitar a análise dos estudos selecionados, eles foram referenciados usando um código começando com a letra A (artigo) seguida de um número.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 descreve os estudos incluídos nesta revisão integrativa de acordo com o ano de publicação, título e periódico. A maior parte dos estudos selecionados foram publicados em 2016 (4) e 2017 (4), seguidos daqueles publicados em 2019 (3), 2020 (3), 2015 (2), 2014 (1) e 2018 (1). Além disso, não foi possível encontrar artigos relacionados ao tema deste trabalho e que tenham sido publicados antes de 2014.

Em relação aos periódicos em que os estudos selecionados foram publicados, *Journal of Chemical Education* predominou (11), seguido de Química Nova na Escola (3), Revista Virtual de Química (3) e Química Nova (1).

**Quadro 1** – Descrição dos estudos selecionados de acordo com ano de publicação, título e periódico.

(continua)

Identificação	Ano de publicação	Título	Periódico	Referência
A1	2014	<i>Low-cost method for quantifying sodium in coconut water and seawater for the undergraduate analytical chemistry laboratory: flame test, a mobile phone camera, and image processing.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	MORAES <i>et al.</i> , 2014
A2	2015	<i>Integrating mobile phones into science teaching to help students develop a procedure to evaluate the corrosion rate of iron in simulated seawater.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	MORAES; CONFESSOR; GASPAROTTO, 2015
A3	2015	<i>Assembling and using an LED-based detector to monitor absorbance changes during acid–base titrations.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	SANTOS, W. G.; CAVALHEIRO, 2015
A4	2016	<i>Integrating a smartphone and molecular modeling for determining the binding constant and stoichiometry ratio of the iron(II)–phenanthroline complex: an activity for analytical and physical chemistry laboratories.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	MORAIS <i>et al.</i> , 2016
A5	2016	<i>Building a microcontroller-based potentiostat: an inexpensive and versatile platform for teaching electrochemistry and instrumentation.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	MELONI, 2016
A6	2016	Espectrofotometria no ensino médio: construção de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição.	Química Nova na Escola	OLIVEIRA, P. C. C.; LEITE, 2016

**Quadro 1** – Descrição dos estudos selecionados de acordo com ano de publicação, título e periódico.

(continua)

Identificação	Ano de publicação	Título	Periódico	Referência
A7	2016	<i>Promoting inclusive chemistry teaching by developing an accessible thermometer for students with visual disabilities.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	VITORIANO <i>et al.</i> , 2016
A8	2017	<i>Determination of titratable acidity in wine using potentiometric, conductometric, and photometric methods.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	VOLMER <i>et al.</i> , 2017
A9	2017	Determinação de manganês em pilhas utilizando um scanner.	Revista Virtual de Química	COLZANI <i>et al.</i> , 2017b
A10	2017	Determinação de fosfato em refrigerantes utilizando um scanner de mesa e análise automatizada de dados: um exemplo didático para ensino de Química.	Química Nova	COLZANI <i>et al.</i> , 2017a
A11	2017	A experimentação no ensino de Química para deficientes visuais com o uso de tecnologia assistiva: o termômetro vocalizado.	Química Nova na Escola	BENITE <i>et al.</i> , 2017
A12	2018	Energia, sociedade e meio ambiente no desenvolvimento de um biodigestor: a interdisciplinaridade e a tecnologia Arduino para atividades investigativas.	Química Nova na Escola	OLIVEIRA, H. G. <i>et al.</i> , 2018
A13	2019	Determinação de vitamina C em suplementos alimentares utilizando métodos volumétricos e espectrofotometria de absorção molecular.	Revista Virtual de Química	DA SILVA, R. S. <i>et al.</i> , 2019
A14	2019	<i>Quantitative analysis using a flatbed scanner: aspirin quantification in pharmaceutical tablets.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	DA SILVA, Rodrigo Sens; BORGES, 2019
A15	2019	<i>Listening to pH.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	COSTA; FERNANDES, 2019
A16	2020	Quantificação de nitrito em água utilizando um scanner de mesa.	Revista Virtual de Química	FABRIS; JOÃO; BORGES, 2020

**Quadro 1** – Descrição dos estudos selecionados de acordo com ano de publicação, título e periódico.

(conclusão)

<b>Identificação</b>	<b>Ano de publicação</b>	<b>Título</b>	<b>Periódico</b>	<b>Autores</b>
<b>A17</b>	<b>2020</b>	<i>Creation of a phenol/water phase diagram using a low-cost automated system and remote transmission.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	CACHICHI <i>et al.</i> , 2020
<b>A18</b>	<b>2020</b>	<i>An Arduino-based talking calorimeter for inclusive lab activities.</i>	<i>Journal of Chemical Education</i>	GOMES <i>et al.</i> , 2020

O Quadro 2 caracteriza os estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A1	<i>Low-cost method for quantifying sodium in coconut water and seawater for the undergraduate analytical chemistry laboratory: flame test, a mobile phone camera, and image processing.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Médio;</li> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Fotômetro de chama.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefone celular (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Bico de Bunsen (fonte de energia térmica);</li> <li>• Frasco borrifador de perfume. (nebulizador).</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usando o sistema proposto, estudantes de Geologia determinaram concentrações de Na<sup>+</sup> na faixa de 11.2-12.2 g dm<sup>-3</sup> em amostras de água do mar. A concentração de Na<sup>+</sup> encontrada em amostras de água de coco foi 48 ± 4 mg dm<sup>-3</sup>.</li> </ul>
A2	<i>Integrating mobile phones into science teaching to help students develop a procedure to evaluate the corrosion rate of iron in simulated seawater.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental;</li> <li>• Aprendizagem baseada no estudante;</li> <li>• Aprendizagem baseada na investigação;</li> <li>• Aprendizagem baseada em descobertas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Médio;</li> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefone celular (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os estudantes ficaram bastante surpresos e empolgados ao saber que um dispositivo como um telefone celular poderia ter alguma utilidade na Ciência;</li> <li>• Dois grupos de estudantes construíram gráficos da concentração de Fe<sup>+2</sup> em função do tempo, os quais formaram uma linha reta com coeficiente angular representando a taxa de corrosão de ferro.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A3	<i>Assembling and using an LED-based detector to monitor absorbance changes during acid–base titrations.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Fotômetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotodiodo (detector);</li> <li>• LED (fonte de radiação).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resultados das titulações ácido-base (HCl/NaOH e H<sub>3</sub>COOH/NaOH) usando o fotômetro proposto diferiram pouco daqueles obtidos através de um eletrodo de vidro;</li> <li>• Em uma aula experimental com estudantes em grupos de três membros, cada titulação durou aproximadamente 1 h.</li> </ul>
A4	<i>Integrating a smartphone and molecular modeling for determining the binding constant and stoichiometry ratio of the iron(II)–phenanthroline complex: an activity for analytical and physical chemistry laboratories.</i>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefone celular (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O instrumento e o método semiempírico propostos foram suficientes para identificar a estabilidade dos complexos de ferro(II) estudados;</li> <li>• O instrumento não foi aplicado em aulas práticas.</li> </ul>
A5	<i>Building a microcontroller-based potentiostat: an inexpensive and versatile platform for teaching electrochemistry and instrumentation.</i>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Potenciostato.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arduino Uno (placa de prototipagem);</li> <li>• Eletrodos (sensores).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O coeficiente de difusão de K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] obtido usando o instrumento proposto concordou bem com o valor reportado na literatura;</li> <li>• O instrumento não foi aplicado em aulas práticas.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A6	Espectrofotometria no ensino médio: construção de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição.	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Médio.</li> </ul>	Fotômetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LED (fonte de radiação);</li> <li>• LDR (detector);</li> <li>• Multímetro digital (leitura de resultados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uma atividade experimental foi proposta com o objetivo de determinar a concentração de <math>\text{KMnO}_4</math> em soluções aquosas.</li> </ul>
A7	<i>Promoting inclusive chemistry teaching by developing an accessible thermometer for students with visual disabilities.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Básico;</li> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Termômetro digital.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circuito integrado ATMEGA328 (microcontrolador);</li> <li>• Circuito integrado LM35 (sensor de temperatura).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os valores de temperatura medidos pelo instrumento proposto foram muito próximos dos obtidos com termômetros de referência;</li> <li>• Os estudantes com deficiência visual se familiarizaram com o instrumento proposto através do toque;</li> <li>• Os estudantes avaliaram positivamente o instrumento proposto.</li> </ul>
A8	<i>Determination of titratable acidity in wine using potentiometric, conductometric, and photometric methods.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanner (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resultados das titulações fotométricas (com o instrumento proposto) e potenciométricas realizadas por estudantes dos cursos de Química, Engenharia Química e Engenharia de Produção não foram significativamente diferentes.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A9	Determinação de manganês em pilhas utilizando um scanner.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scanner (aquisição de imagens digitais);</li> <li>Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os resultados obtidos usando o instrumento proposto e um espectrofotômetro comercial não foram significativamente diferentes;</li> <li>O instrumento proposto foi considerado complicado pelos alunos.</li> </ul>
A10	Determinação de fosfato em refrigerantes utilizando um scanner de mesa e análise automatizada de dados: um exemplo didático para ensino de Química.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scanner (aquisição de imagens digitais);</li> <li>Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>As concentrações de <math>\text{PO}_4^{3-}</math> em refrigerantes determinadas com o instrumento proposto não diferiram significativamente das obtidas com um leitor de microplacas comercial.</li> </ul>
A11	A experimentação no ensino de Química para deficientes visuais com o uso de tecnologia assistiva: o termômetro vocalizado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensino Básico.</li> </ul>	Termômetro digital.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensor de temperatura;</li> <li>Transdutor acústico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alunos com deficiência visual associaram a temperatura de extração do café, a qual foi vocalizada pelo instrumento proposto, com seu odor característico;</li> <li>Os alunos se sociabilizaram e resgataram conhecimentos relativos ao conceito de temperatura e temas correlacionados.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A12	Energia, sociedade e meio ambiente no desenvolvimento de um biodigestor: a interdisciplinaridade e a tecnologia Arduino para atividades investigativas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Médio.</li> </ul>	Biodigestor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arduino Uno (placa de prototipagem);</li> <li>• Circuito integrado DS18B20 (sensor de temperatura);</li> <li>• Circuito integrado MQ-4 (sensor de CH<sub>4</sub>);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As alunas contribuíram no planejamento experimental e na execução dos experimentos. Além disso, elas realizaram a coleta de dados, observaram os fenômenos, interpretaram as observações e, em determinados momentos, propuseram explicações para os fenômenos;</li> <li>• Os resultados foram apresentados em um congresso interno à instituição de ensino e em um blogue.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A13	Determinação de vitamina C em suplementos alimentares utilizando métodos volumétricos e espectrofotometria de absorção molecular.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanner (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A prática de ensino foi realizada em 150 minutos com 14 alunos trabalhando em duplas;</li> <li>• As massas de vitamina C determinadas usando o instrumento proposto e um espectrofotômetro comercial não diferiram significativamente;</li> <li>• Os alunos demonstraram entender a aplicação da análise de variância (ANOVA) de fator único para comparar métodos analíticos.</li> </ul>
A14	<i>Quantitative analysis using a flatbed scanner: aspirin quantification in pharmaceutical tablets.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanner (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As massas de aspirina determinadas usando o instrumento proposto e um espectrofotômetro comercial não diferiram significativamente;</li> <li>• Os estudantes consideraram o experimento de laboratório excitante, gostaram do trabalho em grupo e ganharam experiência em relação ao pensamento crítico e à análise de dados e medidas.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A15	<i>Listening to pH.</i>	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Básico;</li> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Medidor de pH.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arduino Uno (plataforma de prototipagem);</li> <li>• Eletrodo de vidro para pH (sensor potenciométrico);</li> <li>• Desktop ou laptop (acompanhamento das medidas por um supervisor).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foi possível identificar soluções ácidas ou básicas por meio das frequências sonoras geradas pelo instrumento proposto;</li> <li>• A determinação de pH pela discriminação de sons requer treinamento;</li> <li>• O instrumento proposto não foi usado em aulas práticas.</li> </ul>
A16	Quantificação de nitrito em água utilizando um scanner de mesa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Colorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scanner (aquisição de imagens digitais);</li> <li>• Desktop ou laptop (tratamento de dados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usando o instrumento proposto, os estudantes determinaram concentrações de <math>\text{NO}_2^-</math> com precisão e exatidão satisfatórios;</li> <li>• Os alunos reportaram que se sentiram impressionados com as cores das soluções e gostaram de conduzir um método baseado no processamento de imagens digitais.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(continua)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A17	<i>Creation of a phenol/water phase diagram using a low-cost automated system and remote transmission.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Fotômetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser vermelho (fonte de radiação);</li> <li>• Circuito integrado DS18B20 (sensor de temperatura);</li> <li>• LDR (detector).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O experimento remoto foi transmitido aos alunos com sucesso;</li> <li>• Foi possível obter um diagrama de fases do sistema fenol/água próximo do esperado;</li> <li>• A aplicação de um questionário de avaliação prática revelou que uma grande proporção de estudantes avaliou positivamente o experimento.</li> </ul>

**Quadro 2** – Caracterização dos estudos selecionados de acordo com título, estratégia(s) pedagógica(s), nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino, instrumento comercial equivalente, principal(ais) componente(s) do instrumento e resultados relevantes.

(conclusão)

Identificação	Título	Estratégia(s) pedagógica(s)	Nível(eis) e/ou etapa(s) de ensino	Instrumento comercial equivalente	Principal(ais) componente(s) do instrumento	Resultados relevantes
A18	<i>An Arduino-based talking calorimeter for inclusive lab activities.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aula experimental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensino Básico;</li> <li>• Ensino Superior.</li> </ul>	Calorímetro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arduino Uno (plataforma de prototipagem);</li> <li>• Circuito integrado B57541G1 (termistor);</li> <li>• Autofalante;</li> <li>• Desktop ou laptop (acompanhamento das medidas por um supervisor).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As entalpias de dissolução e neutralização determinadas usando o instrumento proposto foram razoavelmente precisas e exatas quando comparadas com dados da literatura;</li> <li>• O experimento foi realizado na presença de sete estudantes deficientes visuais, os quais reportaram corretamente as mudanças de temperatura que foram emitidas pelo instrumento proposto.</li> </ul>

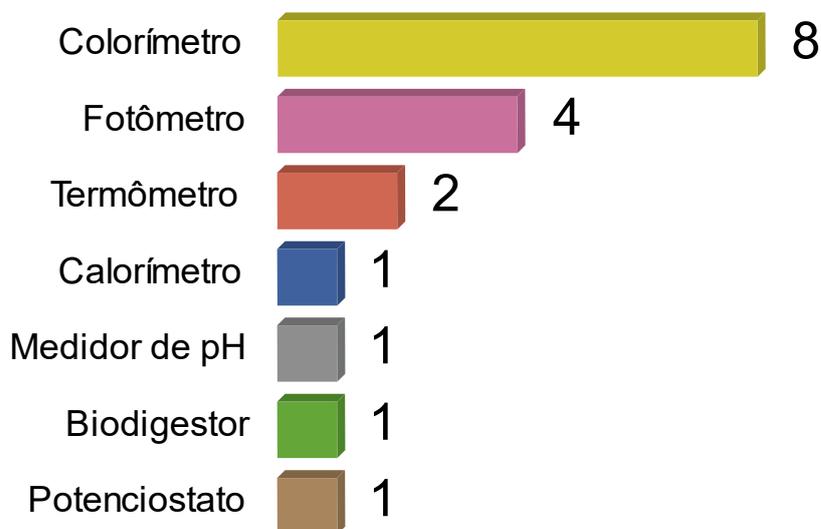
LED: *light-emitting diode* (diodo emissor de luz); LDR: *light-dependent resistor* (resistor dependente de luz).

Para a análise e discussão dos artigos selecionados, duas categorias emergiram: "*Instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química*" e "*Estratégias didáticas empregadas em aulas experimentais de Química*".

### 3.1 INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA COM MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA

Quanto aos instrumentos eletrônicos propostos, a Figura 1 indica que a maior parte dos artigos selecionados propuseram colorímetros (8), seguido de fotômetros (4) e termômetros (2). Enquanto fotômetros são dispositivos construídos para medir a intensidade de luz, colorímetros medem a absorbância de uma certa cor, a qual é separada de um feixe de luz policromática por meio de filtros ou detectores capazes de selecionar comprimentos de onda, como por exemplo os canais RGB (*red-green-blue*) [vermelho-verde-azul] de uma câmera digital (KOVARIK; CLAPIS; ROMANO-PRINGLE, 2020). Dentre as publicações selecionadas, o artigo A1 foi o único a propor um instrumento para fotometria de chama tendo como principais componentes um telefone celular, um bico de Bunsen, um frasco borrifador de perfume como nebulizador e um desktop ou laptop para o tratamento de dados. É importante salientar que todos os instrumentos propostos foram projetados com materiais alternativos de baixo custo e/ou acessíveis.

**Figura 1** – Instrumentos eletrônicos propostos nos artigos selecionados.

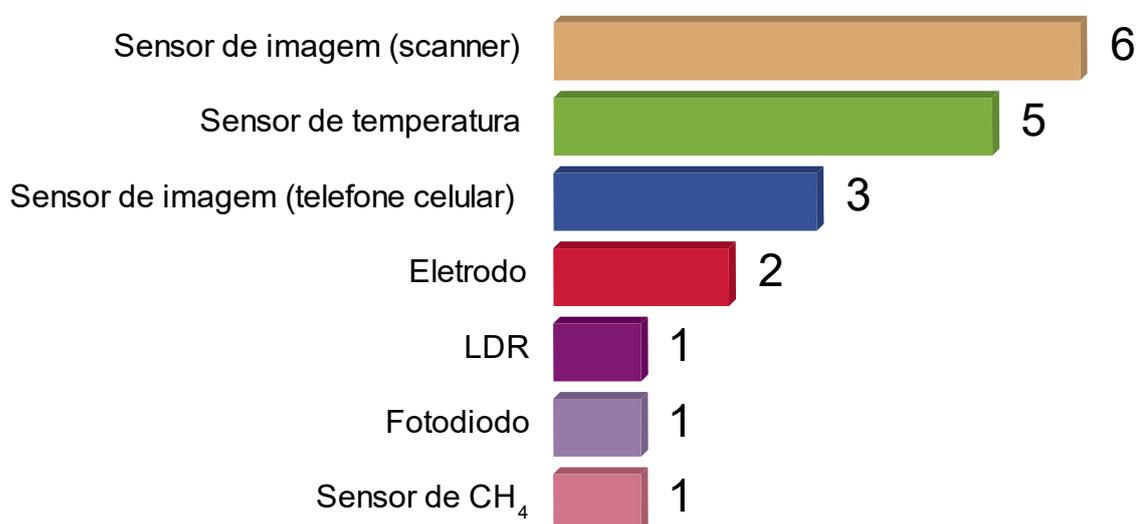


Fonte: elaborada pelo autor.

Fotômetros e colorímetros podem ser usados para demonstrar na prática vários princípios da espectrometria devido à sua simplicidade instrumental, tanto no Ensino Básico como no Ensino Superior. Entretanto, sua aplicação é ainda mais importante no Ensino Médio, pois instrumentos espectrométricos comerciais são caros, o que dificulta sua aquisição por escolas com poucos recursos financeiros.

Quanto aos detectores usados nos instrumentos, a Figura 2 mostra que houve uma predominância de sensores de imagem presentes em scanners (6), seguido de sensores de temperatura (5), sensores de imagem presentes em telefones celulares (3) e eletrodos (2). Isso indica uma considerável proporção de instrumentos baseados no processamento de imagens digitais, cujo desenvolvimento pode ser simplificado pela incorporação de poderosos detectores presentes em smartphones, scanners, tablets, etc. Já os sensores de temperatura são comumente utilizados na construção de termômetros simples ou no monitoramento da temperatura em instrumentos mais complexos, como calorímetros e biodigestores.

**Figura 2** – Detectores utilizados nos instrumentos propostos pelos artigos selecionados.



Fonte: elaborada pelo autor.

A preferência pelo uso de scanners se deu porque as imagens digitais obtidas por elas sofrem pouca influência da luz ambiente, o que favorece a reprodutibilidade das medidas (FABRIS; JOÃO; BORGES, 2020). Entretanto, telefones celulares, especialmente os smartphones, têm múltiplas possibilidades educacionais por serem Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). As TICs se caracterizam pela

convergência entre informática e telecomunicação e englobam ferramentas capazes de difundir conhecimento e informação, como por exemplo televisões, rádios, vídeos, smartphones, tablets e a internet (LEITE, 2018). Essas tecnologias têm criado variadas oportunidades para melhorar o ambiente de aprendizagem, gerando conhecimento e estabelecendo novas formas de relações acadêmicas, sociais e profissionais.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), telefones celulares foram notadamente o principal meio de acesso à internet na população de 10 anos ou mais de idade em 2018. Nesse ano, 73,6% das pessoas com idade entre 14 e 17 anos usaram telefones celulares para uso pessoal, corroborando a crescente disseminação da cultura digital entre os mais jovens (IBGE, 2020). Smartphones estão sendo cada vez mais usados na implementação de técnicas de aprendizagem móvel (*mobile learning*), aliando conectividade e abordagens pedagógicas (HAYES *et al.*, 2020). Na experimentação, a possibilidade de os alunos usarem seus próprios telefones celulares para a realização de medidas confere a eles uma maior participação do processo investigativo.

Como pode ser visto na Figura 3, 15 instrumentos propostos nos artigos selecionados podem ser aplicados no Ensino Superior e nove no Ensino Básico. Nesse nível especificamente, seis instrumentos foram adequados para aplicação no Ensino Médio e três no Ensino Fundamental. Em geral, colorímetros e fotômetros são usados em aulas de graduação não só para o ensino da espectrofotometria, mas também para abordar outros temas, como por exemplo a análise estatística de dados. O ensino dos fundamentos da espectrofotometria encontra embasamento na BNCC, pois espera-se que os alunos sejam capazes de analisar e representar as origens de diferentes formas de energia radiante e suas transformações. Assim, eles podem realizar previsões e avaliar as potencialidades e riscos das aplicações dessas formas de energia em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica (BRASIL, 2018). Adicionalmente, experimentos envolvendo a formação de cores capturam a atenção dos estudantes, estimulando seu interesse pela Química.

**Figura 3** – Níveis e etapas de ensino em que os instrumentos propostos podem ser aplicados.



Fonte: elaborada pelo autor.

Apenas cinco artigos (A5, A7, A12, A15 e A18) propuseram instrumentos microcontrolados, a maioria deles com a plataforma de prototipagem Arduino Uno. O projeto Arduino começou em 2005 na Itália e buscou o desenvolvimento de um dispositivo de controle para projetos interativos criados por estudantes e que fosse menos caro que outros sistemas de prototipagem disponíveis na época (GEDDES, 2017). Os principais modelos de entrada são o Arduino Nano, o Arduino Uno, o Arduino Leonardo e o Arduino Micro. Essas plataformas de prototipagem são de fácil aquisição e baixo custo, usam um sistema operacional de código aberto e costumam ser incluídos em kits didáticos para robótica. Apesar das vantagens dos equipamentos microcontrolados, seu projeto e construção dependem de conhecimentos de eletrônica e programação, exigindo, portanto, a atuação de uma equipe multiprofissional.

É interessante notar que quatro artigos (A7, A11, A15, A18) propuseram instrumentos projetados especificamente para deficientes visuais. Existe um número expressivo desses alunos em todos os níveis de ensino, e a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) garante a eles o acesso e permanência na escola e atendimento educacional especializado e gratuito preferencialmente na rede regular de ensino (BRASIL, 1996).

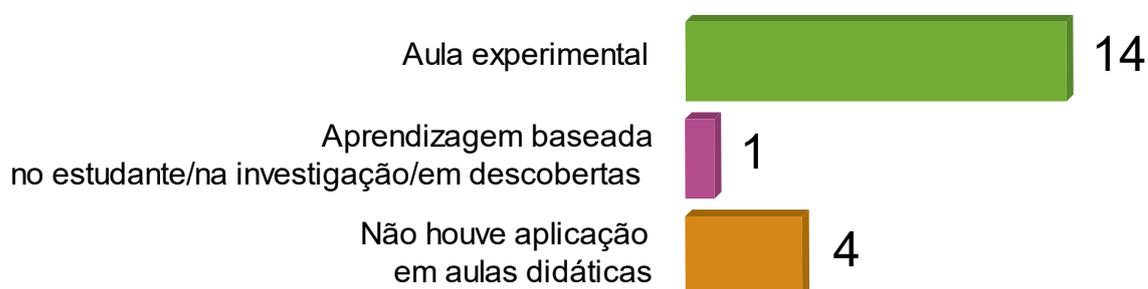
Para quem está aprendendo Química, a visão é certamente o sentido mais importante, já que diversos conceitos químicos, como espectroscopia, estrutura molecular ou mecanismos de reações ou dependem de representações simbólicas e gráficas. Semelhantemente, aulas em laboratórios dependem de observações visuais, sendo ainda mais difícil a inclusão de alunos cegos ou deficientes visuais. Embora seus colegas sem deficiência visual possam oferecer ajuda, isso não é suficiente; assim, o desenvolvimento e uso de novas tecnologias que estimulem a independência dos alunos cegos ou deficientes visuais durante aulas experimentais são necessários. A vocalização de informações numéricas e palavras escritas tornam-se poderosas

ferramentas para alcançar esse objetivo, o que reforça a importância do desenvolvimento de instrumentos com tecnologias assistivas.

### 3.2 ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS EMPREGADAS EM AULAS EXPERIMENTAIS DE QUÍMICA

A Figura 4 ilustra as metodologias didáticas utilizadas nos artigos selecionados. Nota-se que aulas experimentais foram realizadas na maioria dos estudos (14), porém apenas um estudo empregou a aprendizagem baseada no estudante/na investigação/em descobertas. As aulas experimentais realizadas com colorímetros e fotômetros possuíram um certo caráter investigativo, pois, apesar de os alunos terem recebido instruções prévias, eles puderam analisar dados e elaborar hipóteses (SILVA, D. P. da, 2011). Constatou-se também uma pequena quantidade de estudos (4) nos quais os instrumentos propostos não foram aplicados em aulas experimentais.

**Figura 4** – Metodologias didáticas utilizadas nos estudos selecionados.



Fonte: elaborada pelo autor.

Os resultados deste trabalho sugerem que a maioria dos estudos selecionados se limitaram a aplicar um instrumento em uma aula experimental, geralmente guiada por um roteiro. A incorporação dessas aulas em uma sequência didática teria favorecido o processo de ensino e aprendizagem. Sendo um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e coordenadas para alcançar objetivos educacionais (ZABALA, 1998), as sequências didáticas permitem a abordagem de temas interdisciplinares e conectados com o contexto de vida dos alunos.

#### 4 CONCLUSÕES

A Química é uma ciência inerentemente experimental e, por isso, atividades práticas têm um papel primordial para o ensino e aprendizagem dessa disciplina. Atividades práticas, além de ter um caráter mais concreto para os alunos, permitem que eles desenvolvam várias habilidades, como por exemplo o pensamento crítico, elaboração de hipóteses e tomada de decisões, ao mesmo tempo que favorece interações sociais. Nesse contexto, o uso da instrumentação eletrônica voltada para a aquisição e processamento de dados favorece o desenvolvimento dessas habilidades.

A análise dos artigos selecionados indicou que a maioria dos instrumentos eletrônicos propostos foram colorímetros e fotômetros tendo como principais componentes scanners e telefones celulares para a obtenção de imagens digitais. Além disso, a maioria das aulas práticas com esses instrumentos foram ministradas no Ensino Superior, as quais, embora possuíssem alguns aspectos investigativos, foram apresentadas como sequências lineares para guiar os alunos ao longo das atividades. Dentre os dispositivos para a captura de imagens digitais, smartphones têm múltiplas aplicações didáticas e são amplamente disseminados na população mais jovem. Alguns estudos se dedicaram ao projeto de instrumentos empregando tecnologia assistiva, a maioria deles com a plataforma de prototipagem Arduino.

Por fim, é necessário que mais instrumentos eletrônicos de baixo custo sejam projetados e aplicados especificamente no Ensino Básico, pois no Brasil ainda existe uma grande quantidade de escolas com poucos recursos financeiros, muitas delas sem nenhum laboratório. Nesses ambientes escolares, a possibilidade de realizar experimentos pode não só impactar decisivamente o processo de ensino e aprendizagem, mas também estimular o interesse dos alunos pela Química.

## 5 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T. de; ABIB, M. L. V. dos S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003.

AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Netherlands: Springer, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BENITE, C. R. M. *et al.* A experimentação no ensino de Química para deficientes visuais com o uso de tecnologia assistiva: o termômetro vocalizado. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 39, n. 3, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160081>. Acesso em: 19 ago. 2020.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. de A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, [s. l.], v. 5, n. 11, p. 121–136, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>

BRASIL. **Base nacional comum curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

BRASIL. **Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional** 1996. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9394.htm)

CACHAPUZ, A. *et al.* **A necessária renovação do ensino das Ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CACHICHI, R. C. *et al.* Creation of a phenol/water phase diagram using a low-cost automated system and remote transmission. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00070>. Acesso em: 24 ago. 2020.

CHASSOT, A. **Para Que(m) é útil o ensino?** 4. ed. Ijuí: Unijuí, 2018.

CLIPPARD, C. M. *et al.* Construction and characterization of a compact, portable, low-cost colorimeter for the chemistry lab. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 93, n. 7, p. 1241–1248, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00729>

COLZANI, H. *et al.* Determinação de fosfato em refrigerantes utilizando um scanner de mesa e análise automatizada de dados: um exemplo didático para ensino de Química. **Química Nova**, [s. l.], v. 40, n. 7, p. 833–839, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170035>

COLZANI, H. *et al.* Determinação de manganês em pilhas utilizando um scanner. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 1672–1685, 2017b. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170096>

COSTA, S. C.; FERNANDES, J. C. B. Listening to pH. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 96, n. 2, p. 372–376, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00641>

DA SILVA, R. S. *et al.* Determinação de vitamina C em suplementos alimentares utilizando métodos volumétricos e espectrofotometria de absorção molecular. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 155–179, 2019.

DA SILVA, Rodrigo Sens; BORGES, E. M. Quantitative analysis using a flatbed scanner: aspirin quantification in pharmaceutical tablets. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 96, n. 7, p. 1519–1526, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00620>

FABRIS, B. T.; JOÃO, J. J.; BORGES, E. M. Quantificação de nitrito em água utilizando um scanner de mesa. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 569–582, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200045>

FERREIRA, A. P. **Ensino de Química experimental de nível médio com auxílio de um espectrofotômetro alternativo na região do visível**. 2019. Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2019.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. de. Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 101–106, 2010.

FORQUIN, J.-C. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais. **Teoria & Educação**, [s. l.], n. 5, p. 28–49, 1992.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2019.

GALIAZZI, M. do C. *et al.* Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 249–263, 2001.

GALIAZZI, M. do C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica das atividades experimentais: uma pesquisa no curso de licenciatura em química. **Química Nova**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 26–331, 2004.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. de C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 227–254, 2005.

GEDDES, M. **Manual de projetos do Arduino: 25 Projetos Práticos para começar**. 1. ed. São Paulo: Editora Novatec, 2017.

GIANI, K. **A experimentação no ensino de ciências: possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa**. 190 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, [s. l.], n. 10, p. 43–49, 1999.

GOMES, V. V. *et al.* An Arduino-based talking calorimeter for inclusive lab activities. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 97, n. 6, p. 1677–1681, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00148>

GONÇALVES, F. P. **O texto de experimentação na educação em química: discursos pedagógicos e epistemológicos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de Química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 198–202, 2009.

HAYES, C. *et al.* “Making Every Second Count”: Utilizing TikTok and Systems Thinking to Facilitate Scientific Public Engagement and Contextualization of Chemistry at Home. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00511>. Acesso em: 22 set. 2020.

HIRDES, A. R. **Projeto, construção e avaliação de um termômetro eletrônico com aquisição automática de dados e aplicações no ensino de físico-química experimental**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2015. Disponível em: [http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/1259/1/Dissertacao\\_Adriane\\_Hirdes.pdf](http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riiu/1259/1/Dissertacao_Adriane_Hirdes.pdf)

HOSKER, B. S. Demonstrating principles of spectrophotometry by constructing a simple, low-cost, functional spectrophotometer utilizing the light sensor on a smartphone. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 95, n. 1, p. 178–181, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00548>

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua - acesso à internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IZQUIERDO, M.; SANMARTÍ, N.; ESPINET, M. Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. **Enseñanza de las Ciencias**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 45–59, 1999.

KOVARIK, M. L.; CLAPIS, J. R.; ROMANO-PRINGLE, K. A. Review of Student-Built Spectroscopy Instrumentation Projects. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 97, n. 8, p. 2185–2195, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00404>

LEITE, B. S. **Tecnologias no ensino de Química: teoria e prática na formação docente**. Curitiba: Editora Appris, 2018.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2018.

MACHADO, A. H. **Aula de Química - discurso e conhecimento**. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 2004.

MELONI, G. N. Building a microcontroller-based potentiostat: a inexpensive and versatile platform for teaching electrochemistry and instrumentation. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 93, n. 7, p. 1320–1322, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00961>

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. de C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto & contexto enfermagem**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 758–764, 2008.

MORAES, E. P. *et al.* Low-cost method for quantifying sodium in coconut water and seawater for the undergraduate analytical chemistry laboratory: flame test, a mobile phone camera, and image processing. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 91, n. 11, p. 1958–1960, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed400797k>

MORAES, E. P.; CONFESSOR, M. R.; GASPAROTTO, L. H. S. Integrating mobile phones into science teaching to help students develop a procedure to evaluate the corrosion rate of iron in simulated seawater. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 92, n. 10, p. 1696–1699, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00274>

MORAIS, C. de L. M. de *et al.* Integrating a smartphone and molecular modeling for determining the binding constant and stoichiometry ratio of the iron(II)–phenanthroline complex: an activity for analytical and physical chemistry laboratories. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 93, n. 10, p. 1760–1765, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00112>

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, A. C. S. **Uma visão Vygotskyana das atividades experimentais de física publicadas em revistas de ensino de ciências**. 101 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

NÉEL, B. *et al.* Camping burner-based flame emission spectrometer for classroom demonstrations. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 91, n. 10, p. 1655–1660, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed4008149>

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

OLIVEIRA, H. G. *et al.* Energia, sociedade e meio ambiente no desenvolvimento de um biodigestor: a interdisciplinaridade e a tecnologia Arduino para atividades investigativas. **Química Nova na Escola**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160127>. Acesso em: 23 ago. 2020.

OLIVEIRA, P. C. C.; LEITE, M. A. P. Espectrofotometria no ensino médio: construção de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 38, n. 2, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20160024>. Acesso em: 18 ago. 2020.

PINO, H. *et al.* Measuring CO<sub>2</sub> with an Arduino: creating a low-cost, pocket-sized device with flexible applications that yields benefits for students and schools. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 96, n. 2, p. 377–381, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00473>

ROMAN, A. R.; FRIEDLANDER, M. R. Revisão integrativa de pesquisa aplicada à enfermagem. **Cogitare Enfermagem**, [s. l.], v. 3, n. 2, 1998.

SANTOS, L. R. dos; MENEZES, J. A. de. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, [s. l.], v. 12, n. 26, p. 180–207, 2020.

SANTOS, W. G.; CAVALHEIRO, É. T. G. Assembling and using an LED-based detector to monitor absorbance changes during acid–base titrations. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 92, n. 10, p. 1709–1715, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed500931p>

SCHNETZLER, R. P. A pesquisa no ensino de Química e a importância da Química Nova na Escola. **Química Nova na Escola**, [s. l.], n. 20, 2004.

SCHNETZLER, R. P. Alternativas didáticas para a formação docente em Química. *In*: DALBEN, Â. I. L. de F. *et al.* (org.). **Coleção Didática e Prática de Ensino**. Belo Horizonte: Autêntica, 2010.

SILVA, D. P. da. **Questões propostas no planejamento de atividades experimentais de natureza investigativa no ensino de química: reflexões de um grupo de professores**. 211 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.81.2011.tde-01062012-135651>

SILVA, J. B. da. **Uma centrífuga elaborada com material de baixo custo e sua contribuição na aprendizagem do ensino de Química**. 75 f. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SIRGADO, A. P. O social e o cultural na obra de Vigotski. **Educação & Sociedade**, [s. l.], v. 21, n. 71, p. 45–78, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-73302000000200003>

STRACK, R.; MARQUES, M.; DEL PINO, J. C. Por um outro percurso da construção do saber em educação química. **Química Nova na Escola**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 18–22, 2009.

VITORIANO, F. A. *et al.* Promoting inclusive chemistry teaching by developing an accessible thermometer for students with visual disabilities. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 93, n. 12, p. 2046–2051, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00162>

VOLMER, D. A. *et al.* Determination of titratable acidity in wine using potentiometric, conductometric, and photometric methods. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 94, n. 9, p. 1296–1302, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00891>

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. 1. ed. Porto Alegre: Penso, 1998.

ZOMPERO, A. de F.; LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa. **Revista electrónica de investigación en educación en ciencias**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 12–19, 2010.