História da Educação (Vol. 3)
ISBN: 978-65-5222-009-7

doi 10.46943/X.CONEDU.2024.GT03.006

A DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO DE QUÍMICA: PERSPECTIVAS HISTÓRICAS E DESAFIOS NA ERA DIGITAL

Ana Karoline Rocha de Oliveira[1]
Allan da Silva Maia[2]

RESUMO

A Química, ciência fundamental para a compreensão do mundo natural, assume um papel crucial no processo de ensino e aprendizagem, moldando cidadãos conscientes e críticos. Sua evolução histórica, marcada por transformações conceituais, metodológicas e tecnológicas, revela a complexa trajetória da democratização do acesso ao conhecimento químico. Na Era Medieval, a relação entre a Química e a Alquimia era um fascinante mistério e restrita a uma elite intelectual devido à limitada acessibilidade aos conhecimentos. Com o tempo, evoluiu para uma ciência moderna com contribuições significativas para o progresso humano, impulsionando sua inclusão nos currículos educacionais. O processo de democratização do acesso aos conteúdos de Química ao longo da história, é um fenômeno complexo que envolve uma série de fatores interligados, incluindo avanços tecnológicos, mudanças sociais, políticas educacionais e desenvolvimento científico. Sendo as mudanças sociais e avanços tecnológicos, fatores que influenciaram decisivamente na disponibilidade e na acessibilidade de tais conhecimentos. Assim, o objetivo deste trabalho é investigar e analisar a evolução histórica da democratização do acesso aos conteúdos de Química, desde a Idade Média até a Era Digital, com o intuito de compreender como as mudanças tecnológicas e sociais impactaram a disponibilidade e a acessibilidade desses conteúdos ao longo do tempo. Os avanços das tecnologias digitais têm democratizado o acesso aos conteúdos de Química, ofere-

1 Graduada do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE *Campus* Aracati, Brasil. E-mail: profa.karolinerocha@gmail.com;

2 Mestre pelo Curso de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Brasil. E-mail: allanmaia@ifce.edu.br.

ISBN: 978-65-5222-009-7

cendo recursos online como vídeos educativos, tutoriais interativos e comunidades de aprendizado. Essas ferramentas permitem aprendizado personalizado, colaboração e acesso a uma variedade de alunos, embora diversos desafios de acesso persistam. Diante do exposto, faz-se necessário refletir sobre os desafios e oportunidades apresentados pelas tecnologias digitais, destacando as transformações nas práticas educacionais, processo aprendizagem e estratégias eficazes para promover uma democratização mais efetiva e inclusiva no Ensino de Química.
Palavras-chave: História, Ensino de Química, Recursos tecnológicos, Democratização do conhecimento.

ISBN: 978-65-5222-009-7

INTRODUÇÃO

A Educação desempenha uma função fundamental na vida dos indivíduos e na construção da sociedade, sendo um instrumento crucial na promoção da justiça social e exercendo influência direta na cultura e no estilo de vida das pessoas (Branco; Zanatta, 2021). Além disso, Saviani (2011) destaca que a Educação não apenas deve identificar elementos culturais que precisam ser assimilados pelos indivíduos para que estes se tornem plenamente humanos, mas também deve se dedicar à descoberta das formas mais adequadas de alcançar esse objetivo.

No âmbito do desenvolvimento humano, a Química é uma disciplina que contribui significativamente para esse processo pois é uma disciplina que promove uma compreensão mais ampla e crítica do mundo que nos cerca, capacitando as pessoas a tomarem decisões informadas e participarem na sociedade moderna. Assim, a Química não apenas enriquece nossa compreensão do universo, mas também impulsiona o progresso humano na direção de um futuro mais saudável, sustentável e próspero.

Ao analisar os aspectos históricos da Química, observamos que ela tem suas origens na Alquimia, uma ciência mística que floresceu em diferentes culturas ao longo de milênios. De acordo com Vanin (1994), a Alquimia teve seu desenvolvimento a partir do conhecimento prático existente e foi fortemente influenciada por ideias místicas, buscando explicar de forma racional as transformações da matéria. A busca pela pedra filosofal e pelo elixir da longa vida tornou os alquimistas famosos. No entanto, com o avanço da tecnologia, a Química deixou de ser vista como uma forma de magia e passou a ser reconhecida como uma ciência com importância para o desenvolvimento da sociedade moderna.

Raupp *et al*. (2009) observam que a Química está presente em diversos setores da modernidade, incluindo combustíveis, plásticos, tintas, saúde, alimentos, petroquímica, corantes, adesivos, bebidas, materiais de limpeza, entre outros. A Química se destaca como uma força propulsora que estimula a inovação, melhora a qualidade de vida e viabiliza abordagens mais eficientes e sustentáveis para enfrentar os desafios do século XXI. No entanto, percebe-se que essa ciência, se mal utilizada, pode causar grandes impactos na vida no planeta. Temos como exemplo a extração e manipulação inadequadas de substâncias químicas presentes na natureza, quando orientadas apenas em interesses

ISBN: 978-65-5222-009-7

políticos e econômicos, sem considerar os efeitos indesejáveis e prejudiciais de seu uso, o que pode gerar consequências adversas.

A Química pode ser descrita como a ciência que estuda a natureza da matéria, suas transformações e a energia envolvida nesses processos (Rodrigues *et al*., 2019). Por conseguinte, torna-se uma parte intrínseca da vida do estudante, exigindo uma compreensão fundamentada nos conhecimentos historicamente acumulados pela humanidade. Em consonância, Lima e Moita (2011) argumentam que a Química é uma ciência fortemente associada à vida, sendo responsável pelo aumento da expectativa de vida do homem moderno, reconhecimento este que alcança o meio educacional.

Portanto, podemos afirmar que essa ciência possui uma relevância significativa no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes da Educação Básica. No entanto, seu ensino nem sempre seguiu os mesmos padrões que observamos hoje, passando por uma evolução conceitual, bem como no uso de recursos e metodologias de ensino. Essas mudanças estão principalmente relacionadas à forma como as informações são produzidas, distribuídas e consumidas na Era Digital.

Na atualidade, podemos observar que o ensino deve ocorrer por meio do desenvolvimento das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs), que englobam o conjunto de meios técnicos utilizados para processar informações e facilitar a comunicação, integrando diversos ambientes e pessoas. Isso é alcançado por meio do uso de dispositivos e equipamentos (*hardwares*) como computadores, *smartphones*, *modems*, bem como programas, mídias e aplicativos (*softwares*) (Souza, 2021).

Portanto, o advento das tecnologias e plataformas digitais como *WhatsApp*, *YouTube* e *Instagram*, entre outras, vem contribuindo para a democratização do acesso ao conhecimento em Química. Isso ocorre uma vez que um número maior de pessoas pode ter acesso ao conhecimento científico, além de as informações serem disponibilizadas em tempo real (Camillo *et al.*, 2018).

Nesse contexto, as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) desempenham um papel significativo ao tornar os conteúdos de Química mais acessíveis. Esse cenário resulta em um impacto positivo na Educação, ao promover a igualdade de oportunidades educacionais e fomentar o desenvolvimento científico. Os trabalhos de Sousa (2011) e Lima (2011) nos mostram que as TDICs, quando usada efetivamente no ensino de química, podem servir como uma ferramenta poderosa para promover a aprendizagem ativa, experiências

ISBN: 978-65-5222-009-7

práticas e a construção de conhecimento, permitindo que os alunos se envolvam com conceitos químicos de uma forma mais significativa e envolvente.

Não devemos subestimar o fato de que essa conveniência de acesso também tem propiciado um aumento na disseminação de informações falsas na sociedade, as conhecidas *Fake News*. Embora não seja o foco deste estudo, é relevante destacar a importância da democratização da Educação e do Ensino de Química para os estudantes, visto que isso permite o desenvolvimento de habilidades que capacitam a reflexão sobre as informações às quais têm acesso.

Em tempos passados, a falta de acesso à informação era um desafio significativo devido a várias barreiras, sendo a escassez de material didático uma das mais proeminentes. Antes da Era Digital e da disseminação da *internet*, o acesso a livros, manuais e outros recursos de aprendizado era restrito, especialmente em comunidades menos desenvolvidas ou afastadas dos centros educacionais. Muitas escolas e bibliotecas não dispunham de uma variedade adequada de materiais educacionais, o que limitava severamente as oportunidades de aprendizado.

No contexto do Ensino de Química e do uso da tecnologia como forma de democratizar o acesso aos conhecimentos, Ibiapina e Gonçalves (2023) abordam o emprego de uma dessas plataformas no Ensino de Química, destacando o *Instagram* como uma ferramenta não formal que pode potencializar o aprendizado de Química na Educação Básica. Através de postagens de memes, essa tecnologia torna o conteúdo mais acessível e divertido, quebrando estigmas sobre disciplinas exatas. Além disso, oferece recursos como testes para avaliação dos alunos, possibilitando a coleta de dados e auxiliando os professores na tomada de decisões pedagógicas.

O cenário educacional da Química se encontra em um momento crucial de transformação. A busca por uma democratização mais inclusiva exige uma análise profunda dos desafios e oportunidades que surgem neste processo. Seu processo é reconhecido como complexo e desafiador, mas também extremamente necessário para construir uma sociedade mais justa e equitativa. Por meio da reflexão crítica e da colaboração coletiva, é possível superar os obstáculos e pavimentar o caminho para um futuro promissor no ensino dessa disciplina. Assim, asseguramos que todos os alunos tenham acesso a uma educação de qualidade, promovendo uma sociedade mais inclusiva e preparada para os desafios do século XXI.

ISBN: 978-65-5222-009-7

Este estudo visa analisar a evolução histórica da democratização do acesso aos conteúdos de Química, desde a Idade Média até a Era Digital, ponderando sobre o impacto das mudanças tecnológicas e sociais na disponibilidade e acessibilidade desses conteúdos ao longo do tempo. Propõe-se identificar desafios e oportunidades que permeiam o ensino da Química nesse processo, destacando transformações nas práticas educacionais e propondo reflexões sobre estratégias para promover uma democratização mais justa e acessível a todos.

METODOLOGIA

A investigação adotou uma abordagem de caráter qualitativo de natureza exploratória. Conforme a definição de Ludke e André (2013), a pesquisa qualitativa busca obter dados descritivos no contexto natural, empregando uma coleta direta e prolongada de informações. Esta metodologia tem como objetivo compreender a situação em análise de forma exploratória, estabelecendo uma proximidade entre o pesquisador e o problema em estudo.

A pesquisa foi realizada por meio de um estudo bibliográfico utilizando publicações relevantes disponíveis em bases de dados acadêmicas, bibliotecas virtuais e legislações pertinentes, além de relatórios técnicos e outras fontes de informação atualizadas para enriquecer a análise e fornecer uma visão abrangente. O processo de pesquisa envolveu várias etapas, incluindo a formulação da problemática, a definição da estratégia de busca e a seleção das fontes pertinentes, a avaliação dos estudos selecionados, a análise crítica de seus conteúdos, a interpretação das informações e a redação do texto final.

A pesquisa foi realizada na base de dados Google Acadêmico e Periódicos Capes empregando termos-chave como História do Ensino de Química, Democratização do Saber e Tecnologias para o Ensino de Química. A escolha dos textos para análise foi baseada em alguns critérios interligados tais como escopo, maturidade e a aceitação pela comunidade de investigadores. Os pesquisadores mais relevantes para nossa análise incluem Filgueiras (1985; 1986; 1990; 2015; 2022), Lopes (1998), Rigue (2017), Rigue e Corrêa (2019; 2023), Nascimento; Farias; Martins (2020), Ayac e Lemos (2021), Santos e Ferreira (2021), e diversos outros.

Cada estudo selecionado foi submetido a uma análise minuciosa. Examinou-se a metodologia, os resultados e as conclusões, buscando identificar pontos fortes e fracos, assegurando a solidez da pesquisa. As informações

ISBN: 978-65-5222-009-7

coletadas, analisadas e interpretadas foram então transformadas em um texto rico e informativo, com o objetivo de analisar a conjuntura dos fatos relacionados à democratização dos conteúdos de química e realizar uma reflexão sobre os desafios e oportunidades do uso das tecnologias digitais de informação e comunicação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Química não é uma ciência surgida na época atual, há muito tempo se estuda a natureza da matéria, suas transformações e a energia envolvida nesses processos (Rodrigues *et al*., 2019). Hoje, estamos habituados a possuir conhecimentos dessa ciência como parte do nosso cotidiano, sendo aplicada nas grades curriculares do Ensino Básico como um componente das Ciências da Natureza, e temos acesso a livros didáticos, sites e artigos científicos que abordam conteúdos relacionados à Química. A aceitação generalizada dos conteúdos de Química nem sempre foi observada ao longo da história humana. Sua evolução é marcada por uma trajetória extensa, cujos primeiros vestígios remontam à Idade Média, com os Alquimistas, que reuniam o conhecimento da ciência, da arte e da magia em suas práticas de estudo. Na Alquimia, os aspectos filosóficos desempenhavam um papel proeminente, discutindo-se a composição e transformação da matéria a partir de concepções filosóficas.

Alquimia constitui-se como um dos marcos lembrados na história do conhecimento químico, sendo uma forma de compreender a constituição desse saber. Os alquimistas europeus buscavam o elixir da vida eterna e a pedra filosofal (prática de transmutação dos metais em ouro). Dedicavam-se a esses procedimentos, mas agiam de modo hermético e ocultista, uma vez que a sociedade da época era contrária a essas práticas, acreditando tratar-se de bruxaria. Esses alquimistas manipularam diversos metais, como o cobre, o ferro e o ouro, além das vidrarias que foram aperfeiçoadas e, hoje, muitas fazem parte dos laboratórios (Santos, 2011; Lombarde e Kiouranis, 2023).

Apesar da fantasia e da realidade contida nos textos alquímicos, permeados de escritos indecifráveis, aos poucos e clandestinamente, eles se difundiram pela Europa (Santos, 2011). Os alquimistas aprimoraram técnicas de purificação comuns em laboratórios de pesquisa e em indústrias, como a destilação e a sublimação. Além disso, devemos a eles a descoberta do ácido acético, obtido do vinagre, e do ácido clorídrico, produzido pela reação entre o ácido sulfúrico

ISBN: 978-65-5222-009-7

e o cloreto de sódio, comumente conhecido como sal de cozinha (Vanin, 1994). Portanto, os alquimistas muito contribuíram para o desenvolvimento da Química como ciência.

A Química enquanto ciência ganha destaque durante a Revolução Científica (1543– 1687), quando a filosofia dá lugar à experimentação. Um grande nome neste momento histórico foi Alexandre Koyré (1892-1964), que não nega o papel da experiência na origem da Ciência Moderna, mas considera que a experimentação consiste em uma forma precisa de se interrogar a natureza, que deriva de uma decisão a priori de considerá-la como estrutura geométrica (Koyré, 1982). Ora, essa teorização do conceito de experimentação sustentado por Koyré exclui qualquer influência na Revolução Científica de um dos arautos do renascimento do pensamento químico-experimental, o médico e alquimista suíço Paracelso (Mocellin, 2018). Nesse momento, a química contribuiu para a ampliação do conhecimento acerca dos materiais e sua exploração econômica com a exploração de materiais metálicos, de cerâmicas, de vidros ou de pigmentos (Mocellin, 2018).

Sobre o conhecimento químico e sua disseminação nesse contexto, Maar (2008) aponta que durante o século XVII, esse conhecimento estava principalmente nas universidades. Quanto à forma de ensino, o autor comenta que a evolução da ciência influenciou modelos de ensino, incorporando elementos do mecanicismo racionalista de Descartes e do empirismo de Bacon e Locke. Esses modelos, moldados também por pensadores pedagógicos como Ratke e Comenius, priorizam a apresentação dos fatos antes das teorias explicativas, destacando o entendimento do mundo exterior na formação do indivíduo. Na Química, reflete-se o modelo mecanicista/cartesiano, que não reconhece o "átomo", mas permite a subdivisão da matéria, aplicando leis mecânicas ao estudo (Maar, 2008).

Observa-se que durante o advento da Revolução Científica foram diversas as descobertas e as contribuições da Química, mas esse conhecimento estava disponível para poucos, uma vez que a Educação ainda não era democratizada. Pouco antes da ocorrência da Revolução Científica, ocorreu o contato europeu com o Brasil em 1500, onde o processo de democratização do conhecimento químico foi ainda mais lento.

Entre os anos de 1500 e 1822, observa-se que o Ensino de Química era restrito a poucos espaços no Brasil, principalmente na formação de médicos, portanto, acessível a uma parcela minoritária da população, majoritariamente

ISBN: 978-65-5222-009-7

composta por homens de classes altas. Assim, Rigue e Corrêa (2019) apontam que a Química enquanto ciência discreta, *i.e.*, como ciência separada/individualizada, não podia ser visualizada por completo nesse período, pois, nesse contexto, tinha pouca influência na base da formação dos médicos.

Com relação à Educação Básica, nesse período era comandada pelas missões jesuíticas, em especial pelos padres da Companhia de Jesus. Rigue e Corrêa (2019) comentam que estes buscavam moldar, corrigir e padronizar os corpos, buscando retirar a tendência animalesca daqueles indivíduos (os indígenas), sendo que os jesuítas tinham como um de seus objetivos "domesticar" os indígenas e doutriná-los mediante a religião. Portanto, tratava-se de uma Educação de Ordem Religiosa e os professores (padres/sacerdotes) incorporavam a figura superior do professor, provocando a própria renúncia de si. Segundo as lentes de Corrêa (2000), surgiu, nesse contexto, a figura do professor-padre, do formador de almas. A educação ocorria a partir de uma base religiosa e com métodos militares.

Nesse contexto, Filgueiras (2015) observa que havia pouca preocupação com a especificidade do Ensino de Química. No curso de Artes ou Ciências Naturais, ensinavam-se a lógica, a física, a metafísica, a ética e a matemática. O autor ainda aponta que, mesmo que poucas evidências sejam possíveis, "percebe-se que possivelmente algum ensino científico haveria nas instituições jesuítas ou, pelo menos, seria acessível, a quem se interessasse, dispor dos meios necessários ao estudo" (Filgueiras, 2015, p. 52).

As Revoluções Industriais impulsionaram avanços na Química, divididas em quatro etapas, a primeira ocorrida entre 1760 e 1850, centrada na Inglaterra e caracterizada pela produção de bens de consumo, como têxteis, impulsionando a Química, especialmente na produção de corantes de tecidos (Hobsbawm, 1977). No Brasil, em 1759, a expulsão dos Jesuítas por Pombal deu início à formalização das Aulas Régias, promovendo os primeiros passos para o ensino de Química no país (Rigue; Corrêa, 2019).

Até o início dos anos 1800, o progresso científico e tecnológico brasileiro era limitado devido à dependência de Portugal, o que retardou o desenvolvimento científico no país (Rheinboldt, 1953). Durante o reinado de Dom João VI, iniciativas como a criação do Laboratório de Química em 1811 e da Academia Militar em 1811 impulsionaram o ensino de Ciências Naturais no Brasil (Almeida, 2000; Filgueiras, 1990). No entanto, durante o período do príncipe regente Dom Pedro I, houve uma estagnação das discussões científicas, resultando no

que se chama de apagão científico (Rigue; Corrêa, 2019). Dom Pedro II, por sua perspectiva desenvolvimentista, promoveu estímulos ao ensino de Química no Brasil, culminando na criação do Colégio Dom Pedro II em 1837 (Rigue; Corrêa, 2019).

Embora essas iniciativas tenham expandido o acesso ao conhecimento, ele ainda estava restrito à elite, sem uma preocupação efetiva com a democratização do ensino (Rigue; Corrêa, 2019). Durante o século XVIII, o estudo das ciências era considerado essencial, mas o ensino de Química estava muitas vezes relacionado à memorização de leis, representando uma barreira para sua democratização (Lopes, 1998).

A segunda etapa da Revolução Industrial, entre os anos de 1850 e 1900, teve como características principais a de ter se expandido pela Europa (França, Bélgica, Alemanha, Itália e Rússia), Estados Unidos da América, algumas regiões da América Latina, da Ásia (Japão) e África. Também, na segunda fase da Revolução Industrial se distingue o uso da energia hidroelétrica e de derivados fósseis (petróleo), a diminuição das distâncias entre os pontos comerciais em decorrência da invenção da locomotiva e do barco a vapor (Hobsbawm, 1977). Também podemos citar o desenvolvimento da indústria química com produção de produtos químicos em larga escala, síntese de compostos orgânicos, o crescimento da química analítica e desenvolvimento das teorias atômicas. Um período de grande relevância para o desenvolvimento da Química, e suas contribuições para a sociedade, que estabeleceram as bases para muitos dos desenvolvimentos que moldaram a disciplina nos séculos seguintes.

Em 1890, ocorreu a Reforma Benjamin Constant, que não contava com orientações sobre o que deveria ser ensinado no Ensino Primário, Secundário e Superior. Nesse contexto, os conceitos de Química Geral, enquanto conhecimento individualizado, foram inseridos no 5º ano do Ensino Secundário, juntamente com os conteúdos de Física Geral. Assim, observa-se que o Ensino de Química começou a se distanciar das demais ciências naturais (Rigue, 2017; Rigue; Corrêa, 2023). Observamos que, no período de 1500 até 1900, o Ensino de Química se desenvolveu lentamente no Brasil, mas esses avanços foram de grande relevância para que, na atualidade, essa ciência se tornasse mais acessível aos estudantes e ao restante da sociedade.

A terceira etapa da Revolução Industrial, ocorrida entre 1900 e 1980, foi marcada pela formação de multinacionais, automação do processo produtivo e avanços na indústria química (Hobsbawm, 1977). No Brasil, os primeiros cursos

ISBN: 978-65-5222-009-7

de química surgiram no início da década de 1910, impulsionados pelo contexto mundial da Primeira Guerra Mundial, que estimulou o desenvolvimento da indústria química e a necessidade do ensino da disciplina para o progresso da sociedade (Almeida, 2011; Krasilchik, 1987; Filgueiras, 2015; Rigue; Corrêa, 2019).

Universidades e instituições de pesquisa receberam incentivos para expandir seus programas acadêmicos e laboratórios, visando desenvolver recursos humanos e conhecimentos técnicos necessários para impulsionar a indústria química nacional (Filgueiras, 2022). O Brasil também viu a criação de sociedades e revistas dedicadas à química, como a Sociedade Brasileira de Química e a Revista Brasileira de Química, refletindo avanços na democratização do ensino e pesquisa em química (Filgueiras, 2022).

Durante a Ditadura Militar (1964-1984), a Educação no Brasil foi influenciada pelos Estados Unidos, priorizando a formação técnica e o ensino tecnicista, o que levou à instituição da presença da química no currículo mínimo (Rigue, 2017). A fundação da Sociedade Brasileira de Química em 1977 e o lançamento da revista "Química Nova" em 1978 refletiram o aumento do interesse e da discussão sobre a educação em química no país (Oliveira, 2017). Com a promulgação da Constituição Federal em 1988, a educação foi garantida como um direito de todos e dever do Estado, promovendo ainda mais a democratização do acesso ao ensino de química (Brasil, 1988).

A quarta etapa da Revolução Industrial refere-se às transformações ocorridas após 1980, identificadas mediante o uso intensivo da informática que promove o aceleramento e intensificação da produção e da circulação de mercadorias (Hobsbawm, 1977). Sem contar com o advento da tecnologia, do acesso à Internet e anos depois aos smartphones, que possibilitaram a democratização do conhecimento Químico, por meio das redes sociais, por exemplo. Nesse período também ocorreu uma crescente reflexão curricular e didáticas inspiradas no enfoque CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade e posteriormente, devido a importância que a dimensão socioambiental vinha conquistando, CTSA - Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. As perspectivas CTS e CTSA, quando transpostas para o contexto da educação escolar, apresentam, em termos curriculares, grande potencial positivo e propositivo. Sendo compreendidos como produtos socialmente construídos, carregados, portanto, de interesses, valores e visões de mundo (Leal, 2009).

ISBN: 978-65-5222-009-7

A década de 1990 marca um avanço significativo para a democratização do Ensino de Química. A promulgação da Lei nº 9.394, em 1996, estabeleceu a necessidade de um currículo nacional comum, incluindo a Química. Surgiram então as propostas orientadoras como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em 1997 (Brasil, 1996). Em 2002, foram criadas as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (Brasil, 2002), seguidas pelas promulgações da versão final da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) em 2018 (Brasil, 2018). Esses documentos têm como objetivo orientar o Ensino de Química, priorizando a diversificação do processo de ensino e aprendizagem, sendo a BNCC obrigatória para escolas públicas e privadas.

Com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), foram estabelecidos mecanismos de financiamento da Educação (Adams; Moradillo, 2022). Oliveira (1997) destaca a criação do Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e de Valorização do Magistério (Fundef), instituído pela Emenda Constitucional n.º 14, de setembro de 1996, e regulamentado pela Lei n.º 9.424, de 24 de dezembro do mesmo ano, e pelo Decreto nº 2.264, de junho de 1997. Esse fundo foi substituído pelo Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação (Fundeb) em 2007, que distribuiu R$ 156,3 bilhões para a rede pública em 2019, destinados a diversos fins educacionais (Adams *et al.*, 2022).

Aponta-se que a ampliação no financiamento da Educação se mostra como uma forma de promover a democratização do conhecimento, mas é preciso destacar a necessidade de que este seja ampliado principalmente para melhorar os aspectos de infraestrutura das escolas públicas brasileiras, garantindo a todas o acesso à Internet e a outros recursos tecnológicos que facilitem o acesso ao conhecimento científico amplamente difundido na atualidade mediante os recursos de TDICs e que precisam fazer parte da realidade educacional brasileira. Isso garante aos estudantes acesso a laboratórios virtuais, aplicativos voltados para o Ensino de Química, sites de pesquisa, entre outros recursos que facilitem o acesso ao conhecimento.

A criação do fundo de investimento representa avanços para a Educação, como a implementação do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), que visa distribuir materiais educativos, incluindo livros didáticos de Química, para estudantes e professores das escolas públicas. Isso garantiu acesso

ISBN: 978-65-5222-009-7

aos livros didáticos, mas também impulsionou o mercado editorial. Em 2021, foram investidos aproximadamente R$1,9 bilhão no PNLD (Adams; Moradillo, 2022).

A efetivação do PNLD, a partir da ampliação do financiamento da Educação, é de fundamental importância para a superação de barreiras históricas de acesso ao conhecimento científico, visto que, nesse momento histórico, o livro didático era a principal fonte de pesquisa e de conhecimento dos estudantes. Portanto, aponta-se o PNLD como uma das ações atuais em vista de promover a democratização do conhecimento químico. Na década de 1990, também marca o início da Era Digital e a influência das tecnologias no Ensino de Química, assim como no acesso às informações, que se efetivaram nos anos 2000, promovendo uma maior democratização da Química. É interessante apontar que a área de pesquisa em Ensino de Química no Brasil surge nesse cenário e se consolida na década de 2000 (Adams; Moradillo, 2022), e a pesquisa contribui com o processo de democratização do acesso ao conhecimento.

Na sociedade atual, percebe-se cada vez mais que a tecnologia é uma ferramenta presente no cotidiano, devido principalmente ao desenvolvimento de conhecimentos nas áreas de informação e comunicação que proporcionam novas formas de relações interpessoais, de trabalho, execução de tarefas e de resolução de problemas dentro do contexto social (Nascimento *et al*., 2020). A acessibilidade ao conhecimento é de tanta relevância que os documentos orientadores da Educação, como a BNCC, apontam a necessidade do uso das TDICs na promoção da democratização do conhecimento. Cita-se uma das competências do documento que visa a promoção do processo de ensino e aprendizagem dos estudantes a partir das TDICs:

> Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva. (BRASIL, 2018, p. 9).

Observa-se que o documento aponta a necessidade de inclusão das TDICs na prática pedagógica de forma que estas contribuam com o desenvolvimento crítico e conceitual dos estudantes. Isto ocorre porque esses recursos promovem a mediação do conhecimento, além da motivação dos estudantes, e possibilitam acesso às mais diversas atualizações sobre o desenvolvimento da

ISBN: 978-65-5222-009-7

Química e suas contribuições para a humanidade, sejam elas positivas ou não. Um exemplo atual que demonstra a necessidade do uso das TDICs no processo de ensino e aprendizagem foi a pandemia da Covid-19, que ocorreu entre os anos de 2020 e 2021, quando o ensino passou a ocorrer de forma remota. Esse contexto demonstrou que essas ferramentas são aliadas do processo de ensino e aprendizagem de Química.

Os autores Ayac e Lemos (2021) e Santos e Ferreira (2021) discutem que o universo midiático (redes sociais, plataformas de vídeos, músicas, séries, educacionais) tem potencial para ser aliado na prática do Ensino de Química e como podem fornecer metodologias ativas para a aprendizagem, principalmente no ensino remoto. Ressaltaram a importância de meios que forneçam aos alunos metodologias que interliguem a Educação e a tecnologia, tornando o ensino mais próximo da realidade do aluno, através da capacitação de professores que poderão desenvolver o conteúdo e a prática de modo que possibilite ao aluno sentir a Química presente em seu cotidiano.

Brito *et al*. (2021) e Barbosa (2021) mostram que é possível realizar a prática de experimentos sem utilizar instrumentos elaborados, utilizando materiais alternativos, de fácil manipulação, a fim de desenvolver habilidades como manuseio, construção de hipóteses, observação e análise de fenômenos, proporcionando o desenvolvimento científico mediante a articulação teórica e prática, tendo as TDICs como ferramentas de mediação. Estes são alguns dos exemplos que demonstram que a tecnologia promove a democratização do conhecimento, levando ainda os estudantes a serem ativos no processo de ensino e aprendizagem.

Mesmo no atual contexto, em que a tecnologia é uma realidade para a maioria da sociedade, principalmente para os jovens, existem desafios contemporâneos na democratização do conhecimento. Embora o acesso aos conteúdos de Química esteja avançado nos dias atuais por meio das mídias digitais, é importante ressaltar que essa acessibilidade muitas vezes está disponível apenas para as pessoas que têm acesso às tecnologias e para profissionais que possuem formação continuada e familiaridade com essas ferramentas.

As tecnologias digitais de informação têm impactado profundamente o ensino de química, oferecendo uma gama de recursos e ferramentas que enriquecem a experiência de aprendizagem. O acesso a vídeos, simulações, aplicativos interativos e bancos de dados online proporciona aos alunos uma abordagem mais dinâmica e envolvente para explorar os conceitos químicos

ISBN: 978-65-5222-009-7

(Hanus; Fox, 2015; Khan; Shahzad, 2021). Além disso, a interatividade dessas ferramentas promove um maior engajamento dos alunos, incentivando a participação ativa e a compreensão mais profunda dos tópicos abordados.

No entanto, é importante reconhecer os desafios e limitações associados ao uso dessas tecnologias no ensino de química. Um dos principais desafios é a desigualdade de acesso, com alunos de comunidades carentes ou áreas rurais enfrentando dificuldades para obter acesso adequado à internet e às tecnologias digitais (Mackey; Jacobson, 2019). Além disso, a confiabilidade e qualidade dos recursos digitais podem variar amplamente, exigindo que os educadores e alunos desenvolvam habilidades críticas para avaliar a precisão e relevância das informações encontradas online (Warschauer, 2019).

Outro desafio é o equilíbrio entre o uso de tecnologia e outras formas de aprendizado, como experimentos práticos e interações face a face. O uso excessivo de tecnologia pode levar à dependência e reduzir a capacidade dos alunos de resolver problemas de forma independente ou pensar criticamente (Calık; Asıksoy, 2020). Portanto, é essencial encontrar maneiras de integrar efetivamente as tecnologias digitais ao currículo de química, garantindo que complementem e enriqueçam a experiência de aprendizagem de maneira equilibrada e eficaz.

Oliveira (2018) também expõe diversas questões que inviabilizam a inserção da tecnologia nas escolas, como a falta de recursos e investimento, a indisponibilidade de sinal de internet em alguns locais, a capacitação insuficiente dos profissionais e trabalhadores da educação para operar os equipamentos e dispositivos. Portanto, essas são hoje as barreiras a serem enfrentadas para a promoção da democratização do acesso ao conhecimento. Acredita-se que elas precisam urgentemente ser superadas a partir de políticas públicas de financiamento voltadas para a efetivação do acesso aos recursos tecnológicos aos estudantes e professores, pois assim estes passam a utilizá-los na busca pelo acesso ao conhecimento químico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a evolução histórica da democratização do acesso aos conteúdos de Química, desde a Idade Média até a Era Digital, tecendo um panorama histórico entrelaçado com as transformações tecnológicas e sociais. Identificamos os desafios e oportunidades nesse processo, destacando transfor-

ISBN: 978-65-5222-009-7

mações nas práticas educacionais e propondo reflexões sobre estratégias para promover uma democratização mais inclusiva no Ensino de Química atual.

Observou-se que esse processo está relacionado ao desenvolvimento da Educação como um direito, influenciado por contextos políticos, econômicos e sociais, além da evolução conceitual da própria ciência. Desde a elitização até se tornar um direito legal, a democratização do acesso à Química evoluiu ao longo dos séculos.

Salienta-se a necessidade de diversificar as práticas pedagógicas, incluindo o uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs), que se tornaram mais essenciais durante a pandemia da COVID-19, demonstrando a importância da formação de professores e do financiamento educacional.

Embora as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) apresentem um enorme potencial para democratizar o acesso ao conhecimento e impulsionar a aprendizagem de Química, sua implementação eficaz no ensino enfrenta diversos desafios que precisam ser cuidadosamente considerados e superados. Desafios como: o acesso desigual a internet, limitando as oportunidades de aprendizagem para aqueles em situação de vulnerabilidade social e econômica; falta de infraestruturas adequadas para suportar o uso das TDICs no ensino, como internet de qualidade, laboratórios de informática, softwares educativos e até mesmo computadores; falta de formação específica para utilizar as TDICs de forma eficaz no ensino; mudanças na cultura escolar, com foco em metodologias ativas, aprendizagem colaborativa e autonomia dos alunos; necessidade investir na criação de materiais didáticos interativos, simulações, jogos educativos e outros recursos que explorem o potencial das TDICs para promover a aprendizagem significativa e sua integração aos currículos.

A superação desses desafios demanda uma abordagem colaborativa que envolve a participação ativa de governos, instituições educacionais, empresas de tecnologia, educadores e famílias. Por meio da implementação de políticas públicas pertinentes, investimentos na melhoria da infraestrutura educacional, capacitação docente, produção de conteúdos educacionais de qualidade e sensibilização da comunidade escolar acerca do potencial das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs), almejamos construir um futuro em que o ensino de Química seja mais inclusivo, acessível e eficiente para todos os discentes.

O aumento do financiamento da Educação e a disponibilidade de recursos como o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) contribuíram para a

melhoria da qualidade da educação. No entanto, destaca-se a necessidade contínua de políticas públicas mais eficazes e financiamento adequado para melhorar a infraestrutura das escolas públicas e garantir o acesso equitativo ao conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

ADAMS, F. W.; MORADILLO, E. F. de. Formação De Professores De Química Na Perspectiva Histórico-Social e a BNCC/BNFP: Resistir Ou Perecer? In: 2º Simpósio de Ensino em Ciências e Matemática do Nordeste. **Anais...** Fortaleza(CE) UFC, 2022. Disponível em: <http//www.even3.com.br/anais/2secmat>. Acesso em: 20, jan. 2024.

ADAMS, F. W.; SIQUEIRA, R. M.; MORADILLO, E. F. de. Base Nacional Comum Curricular na Formação Inicial de Professores de Química: o que pensam os licenciandos. **Olhar de Professor**, [S. l.], v. 25, p. 1–26, 2022. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/olhardeprofessor/article/view/20410>. Acesso em: 20 jan. 2024.

ALMEIDA, J. R. P. de. Instrução pública no Brasil (1500-1889). São Paulo: **EDUC**, 2000. ALMEIDA, M. R.; PINTO, A. C. Uma breve história da química brasileira. **Ciência e Cultura**, v. 1, pág. 41-44, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000100015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 de mar. 2024.

AYAC, A. A. S.; LEMOS, I. N. O ensino a distância de Química em uma realidade pandêmica: as mídias digitais e suas contribuições. **Diversitas Journal,** [S. l.], v. 6, n. 4, p. 4130–4141, 2021. Disponível em: <https://www.diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/1869>. Acesso em: 31 jan. 2024.

BARBOSA, A. Experimentos com materiais alternativos aplicados ao ensino remoto de química. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 4, n. 6, p. 479-494, 2021.

BRANCO, E.; ZANATTA, S. BNCC e Reforma do Ensino Médio: implicações no ensino de Ciências e na formação do professor. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 4, n. 3, p. 58-77, 2021.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília**, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996. **Diretrizes e bases da educação nacional**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm>. Acesso em: 22 jan. 2024.

BRASIL. MEC/CNE/CP. **Base Nacional Comum Curricular**. Diário Oficial da União, Brasília, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/maio-2016-pdf/40791-bnccproposta- preliminar-segunda-versao-pdf/file>. Acesso em: 09 jan. 2024.

BRASIL. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio**: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2024.

BRITO, R. da C; CZOLPINSKI, A. de L; VAZ, A.; RAUPP, D T. Reações Químicas Na Cozinha: O Uso Do Google Sala De Aula Na Realização De Experimentos Investigativos Fundamentados Na Técnica Predizer-Observar-Explicar. **Revista Prática Docente**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. e098, 2021. DOI: 10.23926/RPD.2021.v6.n3.e098.id1273. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/309>. Acesso em: 31 jan. 2024.

CALIK, M.; ASIKSOY, G. Investigating the effects of digital storytelling on critical thinking, learning motivation, and academic achievement in science education. **Journal of Science Education and Technology**, v.6, n. 29, p. 831-845, 2020.

CAMILLO, C.; SEVERO, J.; MEDEIROS, L. Análise da Tendência do uso das TDICs no Brasil. In: 7º Fórum Internacional Ecoinovar, **Anais...** Santa Maria, 2018. Disponível em: <https://ecoinovar.submissao.com.br/7ecoinovar/anais/>. Acesso em: 30 jan. 2024.

CORRÊA, G. C. O que é a escola? In: Pey, M. O. (Org.). Esboço para uma história da escola no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro: **Achiamé**, v.1, p. 51-84, 2000.

FILGUEIRAS, C. A. L. Origens da Ciência no Brasil. **Revista Química Nova**, v. 13, n. 3, p. 222-229, 1990.

FILGUEIRAS, C. A. L. Origens da Química no Brasil. São Paulo: **Unicamp**, 2015.

FILGUEIRAS, C. A. L. A ideia de nacionalidade e o desenvolvimento da química no Brasil: um longo percurso de dois séculos da ciência no país. **Revista Ciência e Cultura**, v.74, n.3, p.1-26, 2022. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252022000300002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 19 de mar. 2024.

Hanus, M. D.; Fox, J. Assessing the effects of gamification in the classroom: A longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance. **Computers & Education**, 80, 152-161, 2015.

HOBSBAWM, E. J. A era das revoluções: 1789 - 1848. São Paulo: **Paz e Terra**, 1977.

IBIAPINA, V. F.; GONÇALVES, M. **Instagram**: Uma Proposta Digital Para O Ensino De Química E Divulgação Científica. **Revista Docência e Cibercultura**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 01– 25, 2023. DOI: 10.12957/redoc.2023.66274. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/re-doc/article/view/66274>. Acesso em: 31 jan. 2024.

KHAN, M. A.; SHAHZAD, M. The impact of digital technology on academic achievement and motivation: A meta-analytic review. **Educational Research Review**, 36, 100402, 2021.

KOYRÉ, A. "Galileu e Platão". In, Estudos de história do pensamento científico. Rio de Janeiro/Brasília: **Forense-Universitária/Editora Universidade de Brasília**, p. 152-180, 1982 [1943].

KRASILCHIK, M. O professor e o currículo das ciências. São Paulo: **Edusp**, 1987.

LEAL, M. C. **Didática Química**: Fundamentos e Práticas para o Ensino Médio. Belo Horizonte: Dimensão, 2009.

LIMA, E. R. P. O.; MOITA, F. M. G. S. C. A tecnologia e o ensino de química: jogos digitais como interface metodológica. Campina Grande: **EDUEPB**, 2011, p. 279. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/6pdyn/06>. Acesso em: 18 jan. 2024.

LOMBARDE, W.; KIOURANIS, N. M. M. Alquimia E Ensino: Reflexões De Trabalhos Que Utilizaram A Alquimia Em Sala De Aula. **E-Mosaicos**, [S. l.], v. 12, n. 30, p. e-55424, 2023. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/e-mosaicos/article/view/55424>. Acesso em: 31 jan. 2024.

LOPES, A. R. C. A disciplina Química: currículo, epistemologia e história. **Episteme**, v.3, n. 5, p. 119-142, 1998.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A Pesquisas em Educação: abordagens qualitativas. **EPU**, 2013.

MAAR, J. H. História da Química. 2ª ed. Ed. Florianópolis: **Conceito Editorial**, 2008.

MACKEY, T. P.; JACOBSON, T. E. Teaching critical evaluation skills for World Wide Web resources. **Computers & Education**, 33(1), 1-10, 2019.

MOCELLIN, R. C. Química e Modernidade. **Open Journal Systems**, 2018.

NASCIMENTO, V. F.; FARIAS, I. M. S.; MARTINS, A. S. Tecnologias da Informação e Comunicação na Escola: apontamentos sobre uma experiência de formação. **Educação & Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 207-224, 2020. Disponível em: <https://seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/download/462/878>. Acesso em: 14 jan. 2024.

OLIVEIRA, J. L. de. Ensinar e aprender com as tecnologias digitais em rede: possibilidades, desafios e tensões. **Revista Docência e Cibercultura**, v. 2, n. 2, p. 161-184, jun. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12957/redoc.2018.33476>. Acesso em: 11 jan. 2024.

OLIVEIRA, L. S. Universidade Estadual Paulista Faculdade De Ciências Passado, Presente E Futuro Do Ensino De Química No Brasil: Um Ensaio Acadêmico. Bauru: 2017.

OLIVEIRA, R. T. C. A LDB e o contexto nacional: **o papel dos partidos políticos na elaboração dos projetos - 1988 a 1996**. 1997. 370f Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1584935>. Acesso em: 30 jan. 2024.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M. A. Desenvolvendo Habilidades Visuoespaciais: Uso De Software De Construção De Modelos Moleculares No Ensino De Isomeria Geométrica Em Química. **Experiências em Estudo de Ciências**, v.4, nº 1, p.65-78, 2009.

RHEINBOLDT, H. Química no Brasil. In: AZEVEDO, F. (Org). As Ciências no Brasil. São Paulo: **Melhoramentos**, v.2, p. 9-89, 1953.

RIGUE, F. M. Uma Genealogia do Ensino de Química no Brasil.2017. **Dissertação** (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

RIGUE, F. M.; CORRÊA, G. C. A Primeira República e o Ensino de Química no Brasil. **Horizontes**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. e 023001, 2023. Disponível em: <https://revistahorizontes.usf.edu.br/horizontes/article/view/1351>. Acesso em: 18 jan. 2024.

RIGUE, F. M.; CORRÊA, G. C. As Forças Do Brasil Colonial E Imperial Que Contribuíram Para A Emergência Do Ensino De Química Na Escola Brasileira. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 26, n. 1, p. 167–187, 2019. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/11103>. Acesso em: 18 jan. 2024.

RODRIGUES, R. P.; ADAMS, F. W.; FELICIO, C. M.; SILVA, M. C.; SANTOS, J. S. B. dos.; CARDOSO, A. T.; GOULARD, S. M. Produção de Glossário em Libras para Equipamentos de Laboratório: opção para Experimentação Química e Inclusão. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n°.3, 2019. Disponível em: <https://if.ufmt.br/eenci/?go=artigos&idEdicao=68>. Acesso em: 18 jan. 2024.

SANTOS, J. R. dos; FERREIRA, M. E. A report of teaching chemistry in the context of the pandemic of COVID-19 in the public network of São Paulo: **The challenge of virtual classes in Basic Education. Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. e8710212267, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/12267>. Acesso em: 31 jan. 2024.

SANTOS, O. T. L. Transmutação alquímica na obra de Roger Bacon. **Monografia apresentada ao Departamento de História do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília**, 2011.

SAVIANI, D. Disciplina: Pedagogia Histórico-Crítica e Movimentos Sociais. Texto de apoio para o encontro do dia 30 de novembro de 2011. Tema: **Educação e transformação social na escola e nos movimentos populares**. MIMEO, 2011.

SOUSA, RP., MIOTA, FMCSC., and CARVALHO, ABG., orgs. Tecnologias digitais na educação. Campina Grande: EDUEPB, 2011. 276 p. Disponível em: <https://

books.scielo.org/id/6pdyn/pdf/sousa-9788578791247-06.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SOUZA, J. C. G. Integração das TDICs na Educação: Espaços Digitais. **Revista Científica FESA**, v. 1, n. 2, p. 74-88, 2021.

VANIN, J. A. Alquimistas e químicos: o passado, o presente e o futuro. São Paulo: **Moderna**, 1994.

WARSCHAUER, M. Technology and social inclusion: Rethinking the digital divide. **MIT Press**, 2019.