

Cálculo Diferencial e Integral: Transformações Históricas e Impactos na Ciência Moderna

Francisco Armando dos Santos¹, João Paulo Ferreira Lima², Marcos Aurélio Mendes Chaves³, Wânderson José do Vale⁴, Ronaldo Rodrigues de Sousa⁵, George Benvindo de Almeida⁶, Sebastião Rogério Almeida de Carvalho⁷, Roberto Arruda Lima Soares⁸, Ronaldo Campelo da Costa⁹, Ezequias Matos Esteves¹⁰

¹Especialista, Escola Municipal Santa Catarina, Brasil, E-mail: f.armando009@gmail.com; ²Especialista, CETI Osvaldo da Costa e Silva, Brasil, E-mail: jpf355@gmail.com; ³Especialista, Centro Educacional José Cavalcante Filho, Brasil, E-mail: marcomendes07@gmail.com; ⁴Especialista, Escola Municipal Antônio Tapety, Brasil, E-mail: wandersonv1986@gmail.com; ⁵Especialista, Centro Educa Mais Professor Ribamar Torres, Brasil, E-mail: ronaldo.pmat@gmail.com; ⁶Especialista, Escola Municipal Eliezilda Coelho Rocha, Brasil, E-mail: georgebenvindo@outlook.com; ⁷Especialista, CETI Polivalente, Brasil, E-mail: almeidarogério882@gmail.com; ⁸Doutor, Instituto Federal do Piauí – IFPI, Brasil, E-mail: robertoarruda@ifpi.edu.br; ⁹Doutor, Instituto Federal do Piauí – IFPI, Brasil, E-mail: ronaldocampelo@ifpi.edu.br; ¹⁰Doutor, Instituto Federal do Piauí – IFPI, Brasil, E-mail: ezequias@ifpi.edu.br.

<https://doi.org/10.67694/ms4n5e37>

Received: 20/06/2026 | Accepted: 25/06/2026 | Published: 01/07/2026 | Pages: 18–25

ABSTRACT

This article analyzes the development of differential and integral calculus in the Contemporary Age, highlighting its historical evolution, the search for mathematical rigor, and its applications in scientific and technological advancement. Based on a bibliographic and integrative literature review, the study shows that, after the French Revolution, there was an increasing need for logical foundations of calculus, which had previously been supported by intuitive approaches. In this context, the contributions of mathematicians such as Lagrange, Cauchy, Dirichlet, Riemann, and Weierstrass stand out, as they promoted the formalization of fundamental concepts of mathematical analysis. Throughout the twentieth century, especially during the World Wars and the Cold War, calculus became an essential tool for solving strategic problems, expanding its application in areas such as engineering, physics, technology, computing, economics, and the modeling of complex phenomena. It is concluded that differential and integral calculus not only followed historical transformations, but also played a fundamental role in the construction of modern scientific knowledge, remaining indispensable for understanding and solving complex problems in contemporary society.

Key words: Differential and integral calculus; History of Mathematics; Mathematical rigor; Mathematical analysis; Scientific applications.

RESUMO

O presente artigo analisa o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral na Idade Contemporânea, destacando sua evolução histórica, a busca pelo rigor matemático e suas aplicações no avanço científico e tecnológico. A partir de uma revisão bibliográfica de caráter integrativo, o estudo evidencia que, após a Revolução Francesa, houve uma necessidade crescente de fundamentação lógica do cálculo, anteriormente marcado por abordagens intuitivas. Nesse contexto, destacam-se as contribuições de matemáticos como Lagrange, Cauchy, Dirichlet, Riemann e Weierstrass, que promoveram a formalização de conceitos fundamentais da análise matemática. Ao longo do século XX, especialmente durante as Guerras Mundiais e a Guerra Fria, o cálculo consolidou-se como ferramenta essencial para a resolução de problemas estratégicos, ampliando sua aplicação em áreas como engenharia, física, tecnologia, computação, economia e modelagem de fenôme-

nos complexos. Conclui-se que o cálculo diferencial e integral não apenas acompanhou as transformações históricas, mas também desempenhou papel fundamental na construção do conhecimento científico moderno, mantendo-se indispensável para a compreensão e solução de problemas complexos na sociedade contemporânea.

Palavras-chave: Cálculo diferencial e integral; História da Matemática; Rigor matemático; Análise matemática; Aplicações científicas.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do cálculo diferencial e integral é um dos eventos mais importantes da história da matemática. Embora tenha sido concebido na segunda metade do século XVII, por Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz, de maneira independente, sua consolidação teórica e sua ampliação como ferramenta científica ocorreram de forma intensa na Idade Contemporânea, período iniciado em 1789 com a Revolução Francesa. Nesse contexto, a matemática passou por profundas transformações institucionais, científicas e tecnológicas, que impactaram diretamente a forma de produzir, ensinar e aplicar o conhecimento matemático.

Segundo Eves (2011), a criação do cálculo elevou a matemática criativa a um novo patamar, pois seus conceitos fundamentais passaram a ter grande alcance e profundas implicações para a ciência moderna. A partir dessa perspectiva, compreender o cálculo diferencial e integral torna-se essencial para interpretar fenômenos relacionados à variação, ao movimento, à acumulação e à modelagem de processos naturais e sociais.

Com a descoberta do cálculo diferencial e integral, muitos problemas antes considerados insolúveis tornaram-se passíveis de resolução. A possibilidade de aplicação em diferentes áreas atraiu grande parte dos pesquisadores em matemática; ocorreu, então, uma ampla produção de estudos, ainda que inicialmente sem preocupação suficiente com a fundamentação rigorosa. Após o surgimento de contradições e dificuldades conceituais, especialmente nos últimos anos do século XVIII, tornou-se necessário rever as bases do cálculo, de modo a conferir-lhe fundamentação lógica e maior precisão formal.

Durante a Idade Contemporânea, especialmente no século XIX, observa-se uma intensificação do rigor matemático e da formalização dos conceitos relacionados à análise. Roque (2012) destaca que o século XIX ficou frequentemente associado à busca pelo rigor na matemática. Esse processo não se limitou à redefinição de alguns conceitos ou à reformulação de demonstrações específicas; ao contrário, alcançou praticamente toda a análise matemática, contribuindo para sua reorganização e consolidação como uma disciplina mais estruturada e formal.

Esse processo foi fundamental para firmar o cálculo diferencial e integral como um dos pilares da matemática moderna, ampliando significativamente seu uso em áreas como a física, a engenharia e, mais recentemente, a computação. Ademais, o desenvolvimento do cálculo está intimamente ligado às necessidades práticas e científicas que surgiram ao longo do tempo, evidenciando que a matemática evolui em constante diálogo

com o contexto histórico, social e cultural (Eves, 2011).

Conforme apontam estudos da história da matemática, o desenvolvimento desse campo não ocorreu de forma linear, mas sim por meio de diferentes práticas e abordagens ao longo do tempo, refletindo as necessidades e os conhecimentos de cada época (Roque, 2012). Dessa forma, compreender a evolução do cálculo diferencial e integral implica reconhecer sua inserção em um processo histórico mais amplo, marcado por transformações intelectuais e científicas.

O objetivo deste artigo é examinar o papel do cálculo diferencial e integral na Idade Contemporânea, de 1789 até os dias atuais, por meio de uma revisão da literatura, enfatizando seu desenvolvimento histórico, suas contribuições mais relevantes e sua importância para o avanço científico e tecnológico da sociedade contemporânea.

Como objetivos específicos, busca-se expor os alicerces históricos e conceituais do cálculo diferencial e integral, destacando sua importância para o progresso da análise matemática; debater as principais contribuições teóricas durante a Idade Contemporânea; e analisar, com apoio da literatura, como esses conceitos se firmaram como ferramentas essenciais para o avanço das ciências e tecnologias.

Dessa forma, este artigo se justifica pela necessidade de compreender, a partir de estudos já publicados, o papel do cálculo na construção do conhecimento científico moderno, destacando sua importância no contexto histórico e sua contribuição para diversas áreas do saber.

Este artigo está dividido em quatro partes. A primeira refere-se à introdução, na qual são expostos o contexto, os objetivos e a justificativa do estudo. A segunda apresenta o referencial teórico, contemplando os fundamentos históricos e conceituais do cálculo diferencial e integral. A terceira descreve a metodologia, classificada como pesquisa qualitativa, bibliográfica e de caráter integrativo. Por fim, são apresentados os resultados, a discussão e as considerações finais.

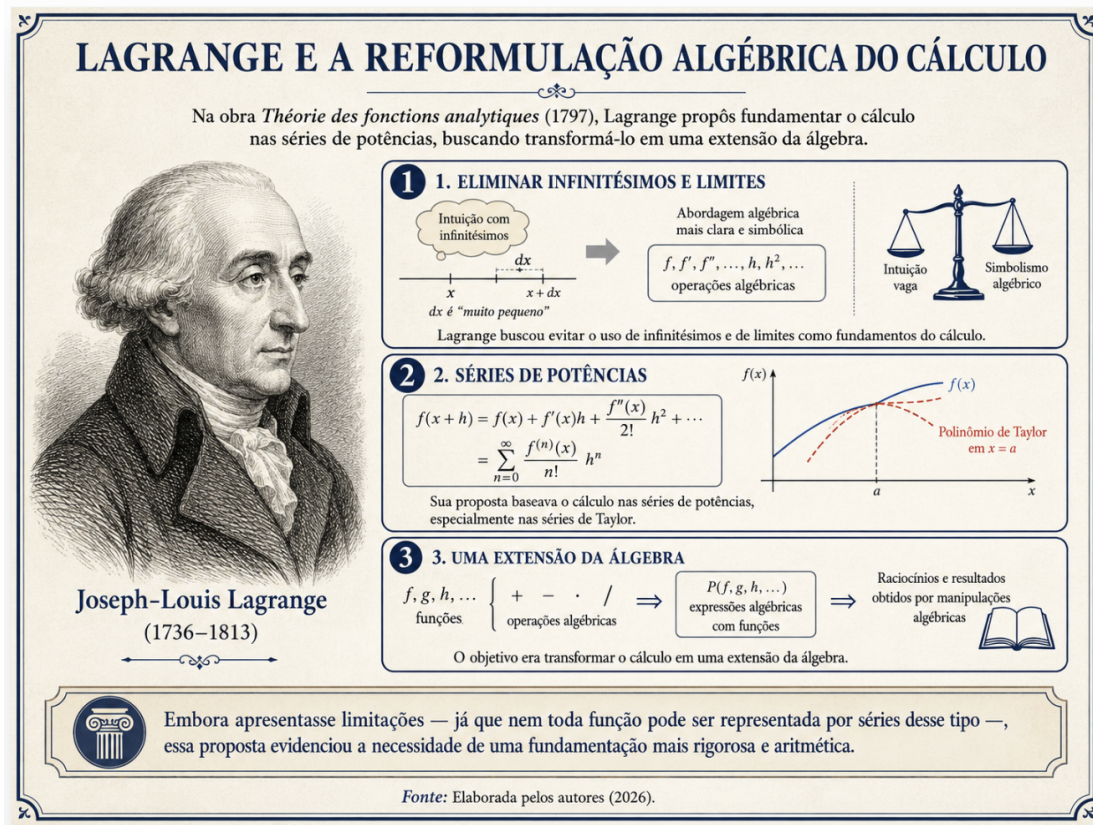
REFERENCIAL TEÓRICO

A Idade Contemporânea e a reorganização dos fundamentos do cálculo

O pós-Revolução e a necessidade de rigor (1789–1810)

O ano de 1789, marcado pela Revolução Francesa, não representa apenas uma transformação política, mas também uma mudança significativa no pensamento matemático. Até então, o cálculo baseava-se no uso de infinitésimos — quantidades não nulas, porém menores que qualquer número positivo —, conceito que, embora intuitivo, apresentava fragilidades do ponto de vista lógico (Boyer, 2012; Eves, 2011).

Nesse contexto, Joseph-Louis Lagrange destacou-se como uma das principais figuras do período. Em sua obra *Théorie des fonctions analytiques* (1797), propôs reformular o cálculo eliminando o uso de infinitésimos e limites, fundamentando-o em séries de potências, especialmente nas séries de Taylor. Seu objetivo era transformar o cálculo em uma extensão da álgebra (Figura 1). Embora essa proposta apresentasse limitações, já que nem toda função pode ser representada por séries desse tipo, ela contribuiu para evidenciar a necessidade de uma fundamentação mais rigorosa e aritmética (Boyer, 2012; Eves, 2011).

Figura 1 – Lagrange e a reformulação algébrica do cálculo

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio de inteligência artificial (2026).

Paralelamente, a fundação da École Polytechnique, em 1794, desempenhou papel decisivo nesse processo. A institucionalização do ensino matemático exigiu maior sistematização dos conteúdos, levando professores como Gaspard Monge, Pierre-Simon Laplace e o próprio Lagrange a reorganizarem os fundamentos do cálculo, evidenciando lacunas conceituais até então pouco problematizadas (Eves, 2011).

A era de Cauchy e a definição de limite (1811–1830)

O avanço decisivo rumo ao rigor matemático ocorreu com Augustin-Louis Cauchy. Na década de 1820, em sua obra *Cours d'Analyse* (1821), Cauchy redefiniu os fundamentos do cálculo ao introduzir uma abordagem baseada no conceito de limite. Diferentemente de Lagrange, ele reconheceu as limitações de uma fundamentação puramente algébrica e propôs definições mais sistemáticas e consistentes (Cauchy, 1821; Eves, 2011).

Cauchy formalizou conceitos fundamentais, como a continuidade, definida por meio de limites; a derivada, entendida como o limite do quociente incremental (Figura 2); e a integral, concebida como o limite de somas. Essas definições representaram um marco na transição do cálculo intuitivo para uma abordagem mais rigorosa.

Contudo, como destacam Boyer (2012) e Eves (2011), seu rigor ainda apresentava limitações, especialmente por se

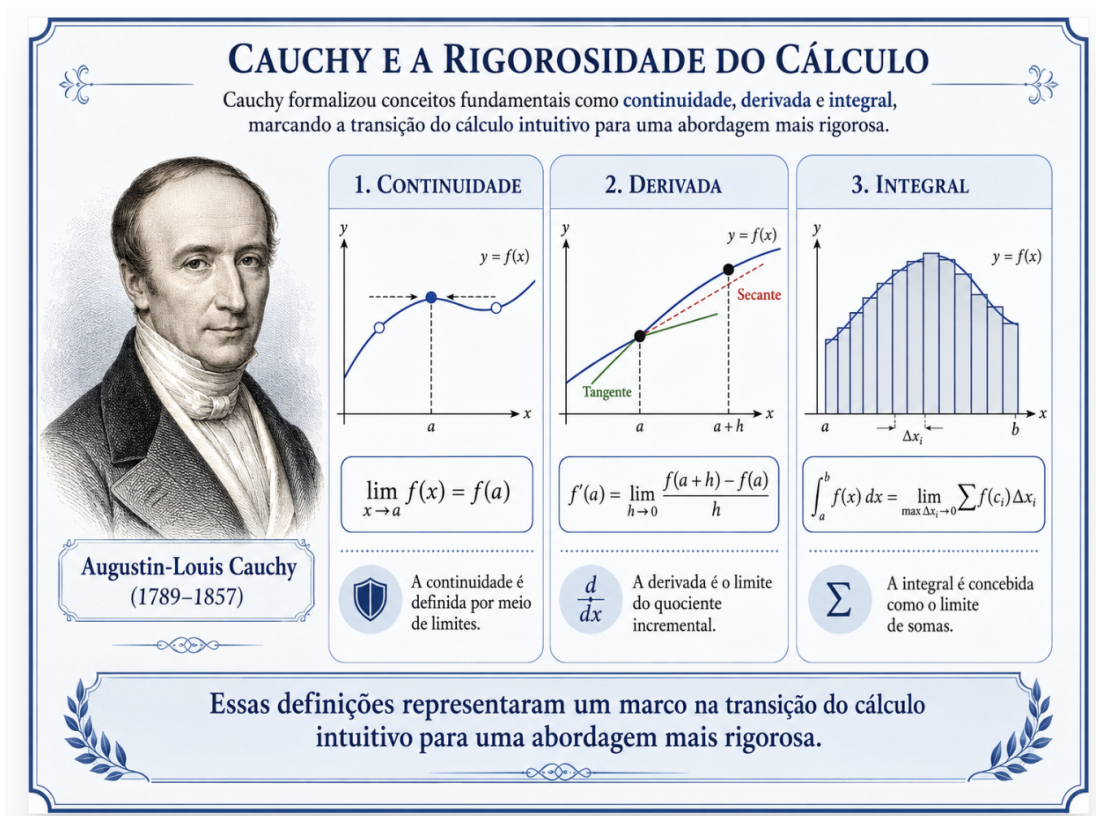
basear predominantemente em descrições verbais e por não tratar adequadamente aspectos como a convergência uniforme.

Nesse mesmo período, Carl Friedrich Gauss desenvolvia trabalhos fundamentais na Alemanha, aplicando o cálculo à astronomia e à geodésia, o que contribuiu para elevar o nível de precisão exigido nas aplicações matemáticas (Struik, 1997).

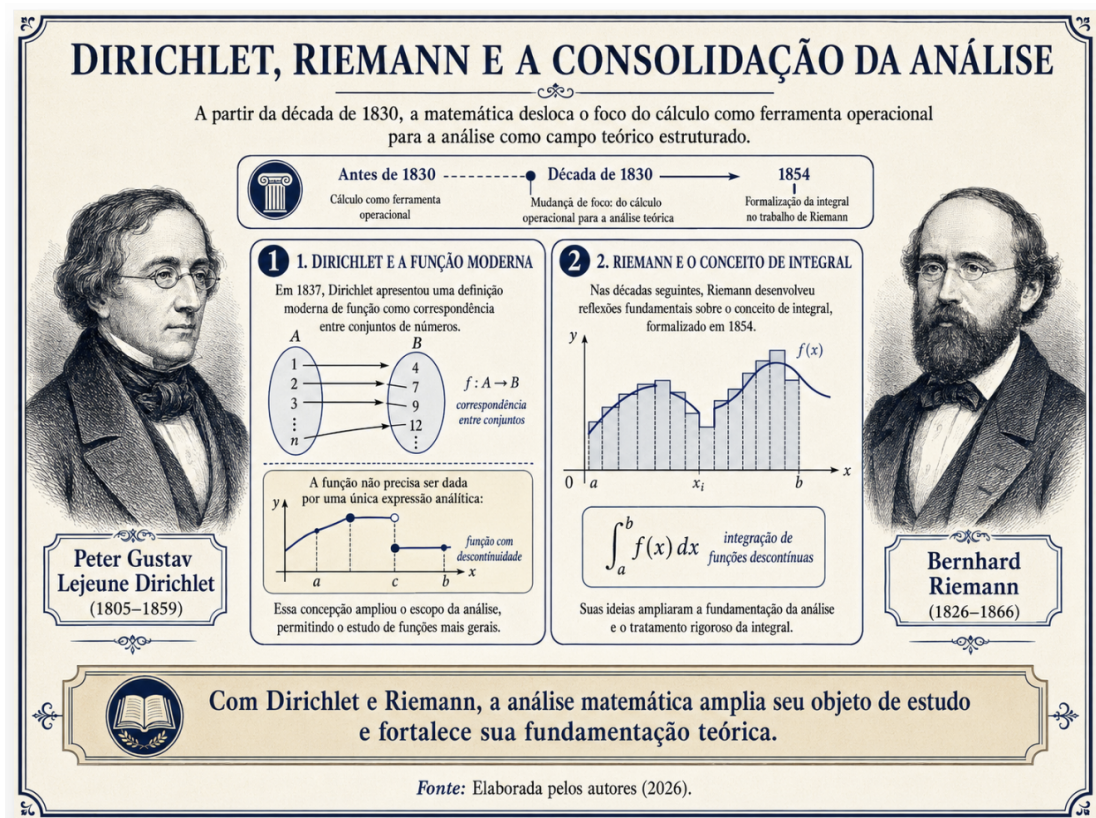
O refinamento e a transição para a análise moderna (1831–1850)

A partir da década de 1830, observa-se uma mudança de foco: do cálculo como ferramenta operacional para a análise como campo teórico estruturado. Em 1837, Peter Gustav Lejeune Dirichlet apresentou uma definição moderna de função como correspondência entre conjuntos de números, rompendo com a exigência de representação por expressões analíticas. Essa concepção ampliou significativamente o escopo da análise matemática, permitindo o estudo de funções mais gerais, inclusive aquelas com descontinuidades (Boyer, 2012).

Nesse contexto, Bernhard Riemann iniciou reflexões fundamentais sobre o conceito de integral. Embora sua formulação rigorosa tenha sido apresentada em 1854 (Figura 3), suas ideias começaram a se desenvolver nas décadas anteriores, especialmente em relação à integração de funções descontínuas (Boyer, 2012; Eves, 2011).

Figura 2 – Cauchy e a rigorosidade do cálculo

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio de inteligência artificial (2026).

Figura 3 – Dirichlet, Riemann e a consolidação da análise

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio de inteligência artificial (2026).

Simultaneamente, na Inglaterra, a Escola Analítica de Cambridge, com nomes como George Peacock e Charles Babbage, promoveu a substituição da notação de fluxões de Newton pela notação leibniziana, contribuindo para aproximar a matemática britânica dos avanços desenvolvidos no continente europeu (Struik, 1997).

Por volta de 1850, o cálculo já havia deixado de ser apenas um instrumento voltado ao estudo do movimento, consolidando-se progressivamente como uma teoria das variações e das funções. Esse processo preparou o terreno para a aritmetização da análise, posteriormente desenvolvida por Karl Weierstrass na segunda metade do século XIX (Boyer, 2012).

Conflitos mundiais: Guerras Mundiais e Guerra Fria

No século XX, os conflitos globais, especialmente a Primeira Guerra Mundial (1914–1918) e a Segunda Guerra Mundial (1939–1945), seguidos pelo período da Guerra Fria, exerceram profunda influência sobre o desenvolvimento científico e tecnológico. Nesse contexto, a matemática assumiu um papel central, destacando-se como instrumento essencial para a resolução de problemas estratégicos, sobretudo nas áreas de engenharia, física e tecnologia militar.

A necessidade de precisão em cálculos relacionados à balística, navegação e comunicação impulsionou o uso intensivo do cálculo diferencial e integral. Problemas envolvendo movimento, variação e otimização, fundamentais em contextos de guerra, exigiam modelos matemáticos cada vez mais sofisticados. Assim, o cálculo passou a ser amplamente aplicado na determinação de trajetórias de projéteis, no estudo de fenômenos físicos complexos e na análise de sistemas dinâmicos, evidenciando sua relevância prática no desenvolvimento de tecnologias militares e científicas (Eves, 2011).

Além disso, o período das Guerras Mundiais contribuiu significativamente para a aproximação entre teoria e prática na matemática. A urgência imposta pelos conflitos acelerou o desenvolvimento de métodos matemáticos aplicados, consolidando o cálculo como uma ferramenta indispensável não apenas no campo teórico, mas também em aplicações concretas. Esse processo reforça a ideia de que a matemática se desenvolve em estreita relação com as demandas sociais e históricas, sendo constantemente influenciada pelo contexto em que está inserida (Roque, 2012).

No período posterior, marcado pela Guerra Fria (1947–1991), a rivalidade entre potências mundiais intensificou a corrida tecnológica e científica. Nesse cenário, o cálculo diferencial e integral desempenhou papel fundamental em áreas como a engenharia aeroespacial, a física nuclear e o desenvolvimento de sistemas computacionais. A corrida espacial, por exemplo, exigiu avanços significativos na modelagem matemática de órbitas, velocidade e aceleração, todos diretamente relacionados aos conceitos do cálculo (Eves, 2011).

Paralelamente, esse período também foi marcado pelo avanço do rigor matemático, iniciado no século XIX e consolidado no século XX. A formalização dos conceitos da análise matemática, com definições mais precisas e fundamentação lógica rigorosa, contribuiu para ampliar a confiabilidade e a aplicabilidade do cálculo em diferentes áreas do conhecimento (Roque, 2012).

Outro aspecto relevante diz respeito ao surgimento e desenvolvimento da computação, especialmente a partir da Segunda Guerra Mundial. O uso de cálculos numéricos em larga

escala para fins militares impulsionou a criação dos primeiros computadores, ampliando significativamente as possibilidades de aplicação do cálculo. Nesse sentido, a matemática moderna passou a integrar não apenas o campo teórico, mas também o desenvolvimento tecnológico e científico de forma mais ampla (Eves, 2011).

Dessa forma, observa-se que o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral não ocorreu de maneira isolada, mas esteve profundamente vinculado às necessidades impostas pelos contextos históricos e sociais. Conforme destacam estudos da história da matemática, os avanços nessa área refletem um processo dinâmico, marcado pela interação entre teoria, prática e contexto histórico (Eves, 2011; Roque, 2012).

Assim, os conflitos mundiais e o período da Guerra Fria desempenharam papel fundamental na consolidação e expansão do cálculo diferencial e integral, evidenciando sua importância como ferramenta indispensável para o progresso científico e tecnológico ao longo do século XX.

No início do século XX, destacaram-se ainda matemáticos como Srinivasa Ramanujan, cujos estudos sobre séries infinitas e funções especiais contribuíram significativamente para o desenvolvimento da análise matemática (Boyer, 2012; Eves, 2011).

Globalização e avanços tecnológicos

O cálculo desempenha papel central na era da globalização, constituindo-se como uma ferramenta essencial para a compreensão e resolução de problemas complexos em diversas áreas do conhecimento e da economia mundial. No campo da logística global, por exemplo, sua aplicação permite a otimização de rotas, a redução de custos operacionais e o aumento da eficiência nas cadeias de suprimentos (Simchi-Levi, 2010). Empresas multinacionais utilizam modelos matemáticos baseados em derivadas e integrais para ajustar suas operações em tempo real. Um exemplo é a Amazon, que, durante eventos como a Black Friday, emprega algoritmos matemáticos para reorganizar milhões de entregas, considerando variáveis como tempo, distância e condições de tráfego. De modo semelhante, a Maersk utiliza modelos matemáticos para definir rotas marítimas mais eficientes, reduzindo o consumo de combustível e o tempo de viagem.

Além disso, a programação linear, fundamentada em conceitos matemáticos, é amplamente empregada para otimizar recursos em escala global. Companhias aéreas, como a Delta Air Lines, utilizam esses modelos para planejar rotas, organizar escalas de tripulação e definir preços de passagens, buscando maximizar lucros e minimizar custos. No setor industrial, tais métodos são aplicados na definição de estratégias produtivas e logísticas, considerando variáveis como custos de transporte, tributação e demanda internacional (Hillier; Lieberman, 2013).

Na área de transportes, o cálculo é indispensável para a análise de grandezas como velocidade, tempo e distância. Um exemplo relevante é o controle de tráfego aéreo, que utiliza modelos matemáticos para evitar colisões e otimizar o fluxo de aeronaves, especialmente em eventos de grande porte, como a Copa do Mundo. Em centros urbanos, sistemas de cidades inteligentes aplicam o cálculo para controlar semáforos e prever congestionamentos, contribuindo para a melhoria da mobilidade urbana.

Outro campo fortemente impactado pelo cálculo é o sistema de posicionamento global (GPS). Seu funcionamento

depende de equações matemáticas complexas que permitem determinar a localização precisa de objetos na superfície terrestre. Aplicativos como o Google Maps utilizam esses modelos para fornecer rotas em tempo real, considerando condições de tráfego e possíveis obstáculos. Além disso, o GPS desempenha papel fundamental na aviação e na navegação marítima.

No âmbito da economia internacional, o cálculo é amplamente utilizado para modelar fenômenos como inflação, crescimento econômico e variações cambiais. Um exemplo marcante foi a crise financeira de 2008, na qual modelos matemáticos foram empregados para prever riscos e impactos econômicos. Ainda hoje, derivadas são utilizadas na análise do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e na identificação de tendências econômicas, auxiliando governos e empresas na tomada de decisões (Mankiw, 2019; Chiang; Wainwright, 2006).

Por fim, o cálculo é fundamental na modelagem matemática de fenômenos globais. Durante a pandemia de COVID-19, equações diferenciais foram utilizadas para prever a propagação do vírus e orientar políticas públicas. De forma semelhante, estudos sobre mudanças climáticas utilizam modelos matemáticos para projetar o aumento da temperatura global, o derretimento de geleiras e a elevação do nível do mar. Esses exemplos evidenciam que o cálculo não apenas contribui para o avanço científico, mas também desempenha papel estratégico na compreensão e enfrentamento de desafios globais (Anton; Bivens; Davis, 2014).

MÉTODO

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, do tipo bibliográfica, estruturada na forma de revisão integrativa da literatura (Gil, 2017; Souza; Silva; Carvalho, 2010). Esse tipo de abordagem permite reunir, analisar e sintetizar produções científicas relevantes, possibilitando uma compreensão ampla acerca do desenvolvimento do cálculo diferencial e integral na Idade Contemporânea, bem como de suas implicações teóricas e práticas.

A revisão integrativa foi conduzida a partir das etapas propostas por Souza, Silva e Carvalho (2010), que compreendem: (i) definição do problema de pesquisa; (ii) estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão; (iii) busca e seleção dos estudos; (iv) análise crítica do material; e (v) síntese e apresentação dos resultados.

Inicialmente, definiu-se como problema central investigar de que forma o cálculo diferencial e integral se desenvolveu ao longo da Idade Contemporânea e quais foram suas principais contribuições para o avanço científico e tecnológico. A partir dessa problematização, buscou-se compreender como esse campo da matemática se consolidou tanto em termos de rigor teórico quanto de aplicabilidade prática em diferentes contextos históricos.

A etapa de busca bibliográfica foi realizada por meio da seleção de livros, artigos científicos e obras clássicas da história da matemática, priorizando autores reconhecidos na área, como Eves (2011), Boyer (2012), Roque (2012) e Struik (1997). Os critérios de inclusão consideraram: (i) obras que abordassem o desenvolvimento histórico do cálculo diferencial e integral; (ii) estudos que discutissem o processo de formalização e rigor matemático; e (iii) produções que relacionassem o cálculo a contextos científicos, tecnológicos e sociais. Foram excluídos materiais que não apresentavam relação direta com

a temática ou que não contribuíssem para a análise proposta.

Após a seleção das fontes, procedeu-se à leitura integral e analítica dos textos, com o objetivo de identificar elementos recorrentes e relevantes para a compreensão do fenômeno investigado. A análise dos dados foi conduzida por meio de abordagem qualitativa, utilizando a técnica de categorização temática, que possibilita a organização e interpretação dos conteúdos a partir de eixos de análise.

Nesse sentido, os dados foram organizados em categorias como: (i) processo de rigor e formalização do cálculo; (ii) contribuições de matemáticos na Idade Contemporânea; (iii) relação entre matemática e contexto histórico; e (iv) aplicações do cálculo em diferentes áreas do conhecimento. Essa organização permitiu identificar convergências, transformações e permanências ao longo do período analisado.

Por fim, a síntese dos resultados foi elaborada de forma interpretativa, buscando não apenas descrever os avanços do cálculo, mas também discutir suas implicações epistemológicas e seu papel na construção do conhecimento científico moderno. Dessa forma, a metodologia adotada possibilita uma análise crítica e contextualizada, em consonância com os princípios da revisão integrativa.

RESULTADOS

A análise da literatura permite compreender que o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral, na Idade Contemporânea, não deve ser interpretado como um processo linear de aperfeiçoamento técnico, mas como uma transformação epistemológica profunda no modo de conceber a matemática. Os resultados obtidos evidenciam que essa evolução esteve diretamente associada à necessidade de superar fragilidades conceituais herdadas dos séculos anteriores, especialmente no que se refere ao uso intuitivo dos infinitésimos.

Nesse contexto, o período posterior à Revolução Francesa revela-se fundamental não apenas por mudanças institucionais, mas por impulsionar uma reconfiguração do papel da matemática na sociedade. A tentativa de Joseph-Louis Lagrange de fundamentar o cálculo em séries de potências demonstra um esforço inicial de aritmetização, ainda que limitado. A relevância de sua contribuição não reside na validade universal de sua proposta, mas no fato de explicitar a insuficiência das bases conceituais então vigentes, funcionando como catalisador para abordagens mais rigorosas.

A partir disso, os resultados indicam que a obra de Augustin-Louis Cauchy representa um ponto de inflexão no desenvolvimento da análise. Ao introduzir definições mais precisas para limite, continuidade e derivada, Cauchy inaugurou um movimento de formalização que deslocou o cálculo de um campo predominantemente intuitivo para uma estrutura mais lógica. Contudo, a análise crítica da literatura mostra que esse rigor ainda era incompleto, especialmente no tratamento da convergência, o que evidencia que o processo de formalização foi gradual e cumulativo. Segundo Gambera (2019), Cauchy introduziu definições mais rigorosas que marcaram uma mudança na forma de fundamentar o cálculo, ainda que o processo de rigor tenha se desenvolvido ao longo do século XIX.

Esse movimento atinge um novo patamar com as contribuições de Peter Gustav Lejeune Dirichlet e Bernhard Riemann, cujos trabalhos ampliaram significativamente o escopo da análise matemática. A redefinição do conceito de função por

Dirichlet rompeu com a dependência de expressões analíticas, permitindo a investigação de objetos mais gerais e, por vezes, contraintuitivos. Paralelamente, a formulação da integral por Riemann introduziu critérios mais rigorosos para a integrabilidade, evidenciando uma mudança de foco: da aplicação prática imediata para a fundamentação teórica consistente.

No século XX, os resultados analisados demonstram que o cálculo assumiu papel estratégico em contextos de alta complexidade, especialmente durante as Guerras Mundiais e a Guerra Fria. Diferentemente do período anterior, marcado pela busca de rigor interno, observa-se aqui uma intensificação da relação entre matemática e aplicação prática. O cálculo passou a ser utilizado de forma sistemática na modelagem de fenômenos físicos, na otimização de sistemas e na resolução de problemas tecnológicos, indicando uma convergência entre desenvolvimento teórico e demanda social.

Eves (2011) observa que a teoria da integração permaneceu pouco desenvolvida por longo período após Arquimedes, sendo retomada na Europa Ocidental apenas com a circulação posterior de traduções de seus trabalhos. Essa retomada histórica contribuiu para que, nos séculos posteriores, os fundamentos da integração fossem progressivamente reorganizados, culminando em formulações mais rigorosas na análise matemática.

Entretanto, a discussão dos resultados permite avançar para além de uma visão meramente funcional do cálculo. Na contemporaneidade, marcada pela globalização e pela digitalização, o cálculo não apenas sustenta aplicações técnicas, mas também estrutura modelos decisórios em larga escala. A utilização de métodos matemáticos por empresas como Amazon e Maersk evidencia que o cálculo se tornou parte integrante de sistemas complexos de otimização e previsão, nos quais variáveis são constantemente ajustadas em tempo real.

Além disso, a aplicação do cálculo na modelagem de fenômenos globais, como a pandemia de COVID-19 e as mudanças climáticas, revela uma ampliação de seu papel epistemológico. O cálculo deixa de ser apenas uma ferramenta descritiva para assumir uma função preditiva e estratégica, influenciando diretamente processos de tomada de decisão em níveis governamentais e institucionais.

Apesar dos progressos alcançados, uma análise crítica aponta a importância de reconhecer certas limitações. A dependência cada vez maior de modelos matemáticos suscita questionamentos quanto à simplificação excessiva da realidade, às incertezas presentes nos dados e ao risco de interpretações inadequadas dos resultados. Dessa forma, ainda que o cálculo seja essencial, sua aplicação demanda prudência e consciência de seus limites epistemológicos. Afinal, o uso de modelos matemáticos envolve, inevitavelmente, reduções da complexidade do real, o que exige uma leitura cuidadosa dos resultados e o reconhecimento de suas restrições (D'Ambrosio, 1998).

DISCUSSÃO

A discussão evidencia que o cálculo diferencial e integral, ao longo da Idade Contemporânea, não apenas acompanhou as transformações científicas e tecnológicas, mas contribuiu ativamente para estruturá-las. Sua evolução reflete um movimento duplo: de um lado, a busca por rigor e fundamentação teórica; de outro, a crescente inserção em contextos práticos e complexos. Essa dualidade constitui um dos principais

resultados desta análise, reafirmando o cálculo como elemento central na construção do conhecimento científico moderno.

Ao considerar o processo de rigorização do século XIX, percebe-se que o cálculo deixou de depender exclusivamente de interpretações intuitivas e passou a exigir definições mais precisas de limite, continuidade, derivada e integral. Essa mudança foi essencial para a consolidação da análise matemática como campo autônomo, permitindo que os conceitos do cálculo fossem aplicados com maior segurança em diferentes áreas científicas.

Por outro lado, a expansão das aplicações do cálculo no século XX e na contemporaneidade revela que a matemática não se desenvolve isoladamente. Guerras, avanços tecnológicos, globalização, computação e desafios globais estimularam novas formas de utilização do cálculo, demonstrando que sua relevância está tanto em sua estrutura teórica quanto em sua capacidade de modelar fenômenos concretos.

Assim, a relação entre rigor e aplicação constitui o eixo central da trajetória analisada. O cálculo diferencial e integral tornou-se simultaneamente linguagem formal da análise matemática e instrumento prático para a ciência moderna, o que explica sua permanência como conteúdo fundamental na formação científica e tecnológica contemporânea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste estudo evidencia que o cálculo diferencial e integral, na Idade Contemporânea, ultrapassou sua função inicial como ferramenta matemática, consolidando-se como elemento estruturante do avanço científico e tecnológico. Seu desenvolvimento esteve diretamente associado às transformações históricas, desde as revoluções do final do século XVIII até os fenômenos globais mais recentes, demonstrando sua constante adaptação às demandas da sociedade.

Observa-se que o aprimoramento do rigor matemático, especialmente a partir do século XIX, foi essencial para garantir maior consistência teórica à análise matemática, permitindo que o cálculo alcançasse novos níveis de abstração e aplicabilidade. Esse processo contribuiu para sua inserção em áreas estratégicas, como a engenharia, a física, a economia e a computação, ampliando significativamente seu impacto no mundo contemporâneo.

Além disso, os contextos históricos abordados, como os conflitos mundiais, a Guerra Fria e a globalização, evidenciam que o desenvolvimento do cálculo está intrinsecamente ligado às necessidades práticas e aos desafios enfrentados pela humanidade. Nesse sentido, a matemática reafirma seu caráter dinâmico e contextual, sendo constantemente moldada pelas circunstâncias sociais, políticas e tecnológicas.

Dessa forma, conclui-se que o cálculo diferencial e integral permanece como uma ferramenta indispensável na compreensão e resolução de problemas complexos da atualidade, desempenhando papel central na inovação e no progresso científico. Sua relevância contínua reforça a importância de seu estudo tanto no âmbito acadêmico quanto nas aplicações práticas que sustentam o desenvolvimento da sociedade contemporânea.

AGRADECIMENTOS

Não se aplica.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

FINANCIAMENTO

Esta pesquisa não recebeu financiamento específico.

LICENÇA

Este artigo está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

REFERÊNCIAS

ANTON, Howard; BIVENS, Irl; DAVIS, Stephen. **Cálculo**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

BOYER, Carl B. **História da matemática**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

CAUCHY, Augustin-Louis. **Cours d'analyse de l'École Royale Polytechnique**. Paris: Debure, 1821.

CHIANG, Alpha; WAINWRIGHT, Kevin. **Matemática para economistas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

D'AMBROSIO, Ubiratan. **Etnomatemática: arte ou técnica de explicar e conhecer**. 2. ed. São Paulo: Ática, 1998.

EVES, Howard. **Introdução à história da matemática**. 5. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2011.

GAMBERA, A. M. Aspectos históricos do rigor na concepção de integral. **Boletim Cearense de Educação e História da Matemática (BOCEHM)**, Fortaleza, v. 6, n. 17, 2019.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

MANKIW, N. Gregory. **Introdução à economia**. São Paulo: Cengage Learning, 2019.

ROQUE, Tatiana. **História da matemática: uma visão crítica, desfazendo mitos e lendas**. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.

SIMCHI-LEVI, David. **Cadeia de suprimentos: projeto e gestão**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010.

STRUİK, Dirk J. **História concisa das matemáticas**. Lisboa: Gradiva, 1997.