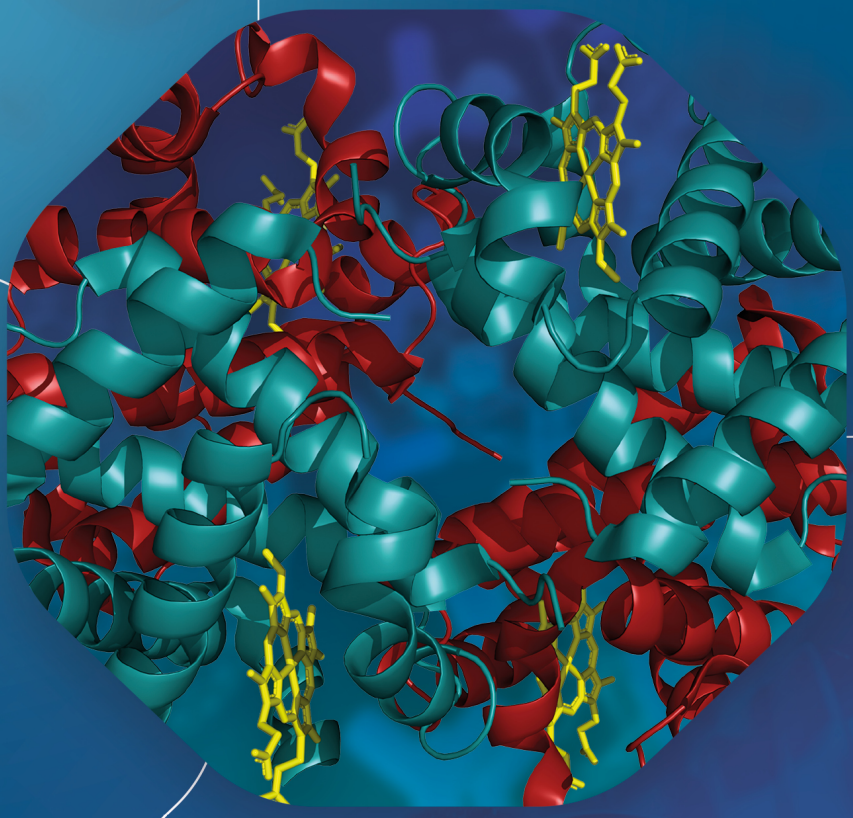
CELENE FERNANDES BERNARDES



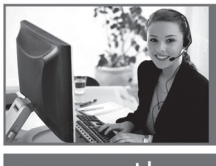
BIOQUÍMICA MOLECULAR

Teoria e Prática

Atheneu

BIOQUÍMICA MOLECULAR

Teoria e Prática



SAL

SERVIÇO DE ATENDIMENTO AO LEITOR

Tel.: 08000267753

www.atheneu.com.br

(21) 99165-6798 Facebook.com/editoraatheneu Twitter.com/editoraatheneu Youtube.com/atheneueditora

BIOQUÍMICA MOLECULAR

TEORIA E PRÁTICA

CELENE FERNANDES BERNARDES

Atheneu
Rio de Janeiro • São Paulo
2026

EDITORA ATHENEU

São Paulo — Rua Maria Paula, 123 – 13º andar
Conjuntos 133 e 134
Tel.: (11) 2858-8750
E-mail: atheneu@atheneu.com.br

Rio de Janeiro — Rua Bambina, 74 – lojas A e B
Tel.: (21) 3094-1295
E-mail: atheneu@atheneu.com.br

Pré-Produção e Produção Gráfica: Equipe Atheneu
Capa: Bruno Eustáquio Bento
Produção Editorial: MKX Editorial

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

B444b

Bernardes, Celene Fernandes
Bioquímica molecular : teoria e prática / Celene Fernandes Bernardes. - 1. ed. – Rio de Janeiro : Atheneu, 2026.
il. ; 24 cm.

Inclui bibliografia
ISBN 978-85-388-1298-2

1. Bioquímica. 2. Biologia molecular. I. Título.

26-105830.0

CDD: 572
CDU: 577.1

Gabriela Faray Ferreira Lopes - Bibliotecária - CRB-7/6643

18/06/2026 19/06/2026

©Direitos reservados à EDITORA ATHENEU – Rio de Janeiro, São Paulo, 2026

Editora

Celene Fernandes Bernardes

Graduada em Terapia Ocupacional pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas). Mestra em Bioquímica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Doutora em Biologia Molecular pela Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). Pós-doutorado em Bioenergética Mitocondrial e Homeostase Intracelular de Íons Cálcio em Tripanossomatídeos (Unicamp). Professora de Bioquímica na PUC-Campinas.

Colaboradores

REVISORES CIENTÍFICOS

Aline Sampaio Cremonesi

Graduada em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas). Mestra em Biologia Funcional e Molecular pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Doutora em Biotecnologia pela Universidade de São Paulo (USP). Docente e Pesquisadora de Biologia Computacional, Bioinformática e Biologia Molecular na Universidade São Francisco (USF).

Marcelo José Della Mura Jannini

Graduado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Mestre em Química pela Unicamp. Professor Extensionista de Química pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

Thiago da Rosa Lima

Graduado em Nutrição. Especialista em Nutrição Esportiva pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER). Especialista em Nutrição Clínica. Mestre em Biociências pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). Doutor em Ciências da Saúde pela UFMT. Professor Adjunto do Departamento de Química da UFMT.

Tiago Rezende Figueira

Graduado em Educação Física pela Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Mestre em Ciências da Motricidade Humana pela UNESP. Doutor em Fisiopatologia Médica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor na Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (EEFERP-USP).

RESPONSÁVEL TÉCNICA PELOS TESTES DOS EXPERIMENTOS

Emanuela Barreto de Sousa Polato

Bacharel em Química pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

ILUSTRADORES

Lara Cristina Marcatto

Bacharel em Química pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

Laura Aiex Fernandes

Bacharel em Química pela Universidade Estadual de São Paulo (UNESP).

Luan Zucherato Jannini

Designer Digital pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

Raphael Wandeck Gibara

Designer Gráfico.

Agradecimentos

Celene Fernandes Bernardes

O sonho de "simplificar o complexo" e relacionar a teoria com a prática, buscando que mais e mais estudantes se apaixonassem pela Bioquímica, se tornou realidade.

Agradeço aos meus alunos, estudantes que me inspiraram a estudar a bioquímica para ministrar as aulas e a planejar e estruturar esse livro. Tenho o privilégio de ensinar bioquímica para estudantes de graduação de diferentes áreas médica, biológica e química, atualmente na PUC-Campinas e, em outros momentos, na UNIARARAS, UNIPINHAL e METROCAMP. Sem o estímulo e o respeito às necessidades dos alunos, essa obra não existiria.

Agradeço aos meus mentores em Bioquímica, o Dr. Aníbal Eugênio Vercesi e o Prof. Flávio Leite Aranha, dois grandes Mestres que confiaram em mim, investiram na minha formação, me inspiraram, me impulsionaram e acreditaram no meu trabalho.

Agradeço ainda aos colegas professores e pesquisadores com os quais convivi nesses anos de docência e pesquisa, representados aqui por Glaucia Maria Pastore, Maria Emiko Saitow, Paulo Eduardo Gáspari, Antonieta Gai Marques, Tânia Maria Paolieri Tornizielo, Marcia Marília Fagian, Alícia J. Kowaltowski e José Roberto Meyer Fernandes.

Agradeço à Pontifícia Universidade Católica de Campinas que me possibilitou colocar em prática, durante as aulas da graduação, os experimentos aqui apresentados e ao apoio técnico fundamental representado pela Emanuela Barreto de Sousa Polato, Bacharel em Química.

Agradeço aos colaboradores Marcelo José Della Mura Jannini (capítulo 1), Tiago Rezende Figueira (capítulos 2 e 7), Aline Sampaio Cremonesi (capítulos 3 e 4) e Thiago da Rosa Lima (capítulos 5 e 6), que prontamente revisaram os textos e as figuras e forneceram sugestões para complementar o conteúdo.

Agradeço aos meus pais pela sabedoria e coragem de trazerem as filhas para estudar na "cidade grande". Agradeço, em especial, aos meus filhos, grandes incentivadores e apoiadores do meu trabalho. Sem o carinho e a compreensão de vocês, esse livro não existiria.

Prefácio 1

Em 1978, como Professor Assistente do Departamento de Bioquímica do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, assumi, a convite e em caráter transitório, autorizado pela Unicamp, a função docente da disciplina de Bioquímica da recém-criada Faculdade de Medicina da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas). Entre os colaboradores já atuantes nessa disciplina encontrava-se a acadêmica de Terapia Ocupacional Celene Fernandes Bernardes, responsável técnica pelo laboratório de aulas práticas de Bioquímica.

Desde o início, chamou nossa atenção a qualidade profissional da jovem Celene: educação, competência, seriedade, satisfação no desempenho das atividades de ensino e excelente didática. Além disso, sua curiosidade em relação aos fundamentos teóricos das aulas práticas era notável. Aos meus olhos, já se delineava ali uma futura professora e potencial pesquisadora na área de Bioquímica, previsão que viria a se concretizar plenamente.

Assim, poucos meses após a conclusão de sua graduação em Terapia Ocupacional, Celene foi contratada pela PUC-Campinas como docente de Bioquímica e ingressou como estudante de Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Bioquímica, desenvolvendo seu projeto de pesquisa em meu laboratório, na Unicamp. Realizou seus estudos experimentais com grande competência, sem, contudo, comprometer suas atividades docentes no ensino superior.

Suas atividades acadêmicas na área científica foram brilhantes. Concluiu o Mestrado em Bioquímica na Unicamp, em 1986, o Doutorado em Bioquímica e Biologia Molecular na Unifesp, em 1995, e o pós-doutorado na Unicamp, entre 1998 e 2002. Durante esse período de formação e pesquisa em meu laboratório, concentrou seus estudos nas áreas de Bioenergética Mitocondrial e Homeostase Intracelular de Íons Cálcio (Ca^{2+}) em tripanossomatídeos.

Em todas essas etapas realizou descobertas científicas de fronteira, destacando-se a demonstração da participação do Ca^{2+} e de radicais de oxigênio em processos de disfunção mitocondrial, estabelecendo bases mecanísticas para o fenômeno denominado "transição

de permeabilidade mitocondrial", atualmente reconhecido como um processo envolvido na morte celular associada a diversas doenças degenerativas.

Outra importante contribuição científica decorrente de seus trabalhos foi a demonstração da existência de transporte de Ca^{2+} pela mitocôndria de Trypanosoma sp., uma verdadeira quebra de paradigma. Essa descoberta contribuiu, posteriormente, para a identificação molecular do canal de cálcio mitocondrial de mamíferos, incluindo os seres humanos, cuja existência funcional vinha sendo investigada havia mais de cinquenta anos.

Sua produção científica foi e continua sendo amplamente documentada por meio de artigos publicados em periódicos arbitrados de reconhecido prestígio nacional e internacional.

É importante lembrar que a formação científica, especialmente aquela baseada na produção de conhecimento por meio da experimentação, contribui de forma decisiva para a excelência do desempenho docente, o que certamente se aplica à Professora Celene Bernardes. A conhecida frase de Carlos Chagas Filho — "na universidade se ensina porque se pesquisa" — sintetiza a ideia de que o ensino não deve consistir na simples repetição de informações estáticas. Ensina-se pesquisando, para transmitir o conhecimento de forma viva, crítica e permanentemente atualizada (Revista FAPESP, edição 295, setembro de 2020).

Após longo período dedicado ao ensino superior de Bioquímica, Celene tomou a difícil e nobre decisão de organizar seus conhecimentos e suas aulas de forma lógica, lúcida e atualizada, escrevendo o livro "Bioquímica Molecular – Teoria e Prática". Mesmo antes da publicação desta obra, seus materiais didáticos, cuidadosamente elaborados, revisados e aperfeiçoados ao longo dos anos, já eram utilizados não apenas pelos alunos dos diversos cursos da área biomédica, mas também por jovens professores em início de carreira.

Estou certo de que seus futuros leitores e alunos descobrirão, por meio deste livro, o quanto é acessível e fascinante compreender os processos da vida em suas bases moleculares.

Anibal Eugenio Vercesi
Professor Titular de Bioquímica e Professor Emérito da Unicamp

Helena Coutinho Franco de Oliveira
Professora Titular de Fisiologia da Unicamp

Prefácio 2

O livro *Bioquímica Molecular – Teoria e Prática* constitui uma obra de grande importância para a formação de estudantes e profissionais no âmbito da área das Ciências Biológicas incluindo as ciências químicas, biológicas e médicas integrando de maneira clara e didática os fundamentos teóricos da bioquímica com atividades práticas de laboratório. Nessa abordagem o livro favorece a compreensão dos processos moleculares que sustentam a vida permitindo que o conhecimento científico seja aplicado à resolução de problemas reais nas áreas Biológicas.

A obra contribui para o entendimento da estrutura e função das biomoléculas, incluindo proteínas, carboidratos e lipídios, bem como dos mecanismos metabólicos que regulam o funcionamento celular; além disso, apresenta conceitos essenciais da regulação metabólica, em especial da enzimologia, temas fundamentais para a formação moderna nesta área.

Nessa obra ressalta-se a importância dada pela Autora no detalhamento dos ensaios analíticos experimentais onde, além das metodologias usualmente utilizadas, são trazidas informações sobre os principais equipamentos laboratoriais utilizados para identificação de compostos e avaliação da ação enzimática ou química a ser realizada. Isso denota a importância da experiência didática da Autora, que busca assim tornar compreensíveis e dinâmicos os ensaios fundamentais importantes a serem realizados no desenvolvimento da disciplina.

Importante ressaltar que a parte experimental dos temas a serem tratados neste livro traz importante informação e compreensão dos fenômenos biológicos a serem estudados nas diversas classes de compostos, como descritos nos capítulos 1 a 6.

O capítulo 7 traz o tema *Digestão Enzimática, Absorção e Metabolismo Energético dos Nutrientes*, descrevendo com profundidade e de forma muito clara o metabolismo energético dos alimentos, sua integração metabólica e a importância para manutenção celular e, portanto, fisiológica. O estudo da digestão enzimática, absorção e metabolismo energético dos alimentos é fundamental para as ciências biológicas em geral, pois permite compreen-

der como os nutrientes presentes nos alimentos são transformados em energia e em componentes essenciais para o crescimento, manutenção e funcionamento do organismo.

A compreensão dos processos digestivos e metabólicos é essencial para entendimento do impacto dos alimentos, o desenvolvimento de estratégias de prevenção de doenças crônicas, a formulação de dietas específicas e a inovação em ciência de alimentos. Portanto, nesse capítulo são fornecidos os conhecimentos científicos necessários para compreender a relação entre alimentação, metabolismo, saúde e qualidade de vida.

Ressalto, ainda, que a Autora desta obra reúne uma trajetória acadêmica e profissional marcada pela excelência no ensino da Bioquímica para diferentes áreas das ciências biológicas e da saúde. Sua ampla experiência na formação de estudantes de graduação permitiu desenvolver uma visão abrangente, profunda e integrada dos conteúdos, compreendendo as principais dificuldades enfrentadas pelos alunos e os caminhos mais eficazes para promover uma aprendizagem sólida e duradoura. Essa vivência, acumulada ao longo de muitos anos de dedicação ao ensino, confere à obra um caráter didático singular fundamentado no rigor científico e na clareza conceitual. A reconhecida competência dela reflete de forma evidente na cuidadosa seleção dos temas abordados e na maneira como são apresentados ao longo do livro. Os conteúdos foram organizados de forma lógica e interligada, permitindo ao leitor compreender as conexões entre os processos moleculares e fisiológicos, os quais sustentam os sistemas biológicos e essa abordagem integrada favorece uma compreensão mais profunda da bioquímica, estimulando o raciocínio crítico e proporcionando aos estudantes uma base consistente para avançar em áreas correlatas das Ciências Biológicas, da Nutrição, da Farmácia, da Medicina e das demais ciências da vida.

Considero a obra essencial e parabenizo a Profa. Dra. Celene Fernandes Bernardes por toda sua dedicação ao ensino e à pesquisa, coroada pela autoria deste importante livro.

Professora Doutora Glaucia Maria Pastore
Professora Titular da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp

Apresentação

O conteúdo de Bioquímica, apresentado neste livro como "Bioquímica Molecular: Teoria e prática", foi desenvolvido em resposta aos anseios dos meus alunos, no decorrer de anos atuando como professora de Bioquímica. Os alunos demonstravam interesse em aprender e aplicar os princípios da Bioquímica; entretanto, dificuldade em estudar e acompanhar o conteúdo detalhado e longo contido nos livros clássicos. Os alunos buscavam um material que apresentasse os princípios de Bioquímica, num texto conciso e acessível e que minimizasse os detalhes dos vários processos celulares, diminuindo a quantidade de material a ser memorizada. A relação do conteúdo teórico com o prático, em especial a interpretação dos resultados dos experimentos, também era uma lacuna a ser preenchida, visto que o conteúdo experimental normalmente não é encontrado em livros clássicos de Bioquímica. O desafio de compilar a bioquímica teórica, de uma forma objetiva, relacionada com a fisiologia animal e ilustrada com experimentos, me motivou a escrever esse livro e a registrar o conteúdo das estruturas químicas e vias metabólicas energéticas fundamentais de carboidratos, lipídeos e proteínas. O material apresentado foi desenvolvido e aprimorado durante os anos de docência em cursos de graduação, num texto que evoluiu da teoria para a prática, baseado em livros clássicos e artigos científicos. Os diagramas dos experimentos visam traduzir os textos para uma linguagem visual e facilitar a organização e realização dos procedimentos técnicos. A estratégia visual dos diagramas dos experimentos foi inspirada nas necessidades dos estudantes e na elaboração de vídeo aulas, desenvolvidas no período da pandemia do COVID-19.

O intuito do livro foi apresentar a Bioquímica numa linguagem introdutória, acessível a estudantes de graduação das áreas de ciências química, biológica e médica. As obras clássicas de Bioquímica, publicadas por Dr. Albert Lehninger e Dr. Harold Harper, foram o alicerce para a realização do conteúdo desse livro e informações mais detalhadas podem ser verificadas nas obras clássicas originais, com conteúdo mais abrangente.

O livro foi organizado com um primeiro capítulo introdutório, relatando termos e técnicas básicas necessárias para a compreensão da bioquímica experimental. O capítulo 2

descreve a importância e mecanismos químicos de pH e sistemas tampões. Os capítulos 3, 5 e 6 abordam as estruturas e propriedades químicas de aminoácidos, proteínas, carboidratos e lipídeos. O capítulo 4 abrange as funções e as características químicas e biológicas das enzimas. Por fim, no capítulo 7, foram apresentados os processos de digestão enzimática e absorção dos macronutrientes e as vias metabólicas energéticas, com ênfase no catabolismo de carboidratos, lipídeos e aminoácidos. O ciclo dos ácidos tricarboxílicos e os lipídeos triacilgliceróis foram denominados, nesse livro, como Ciclo de Krebs e triglicerídeos, nomenclaturas mais populares e comumente utilizadas pelos alunos da área médica.

Espero que o material contido nesse livro incentive ao estudo e possibilite que alunos da graduação conheçam a beleza e a importância da bioquímica como uma ciência fundamental para a base molecular da vida.

"The important thing is not to stop questioning."

Albert Einstein

Sumário

Capítulo 1
Conceitos Básicos de Química Experimental, 1
Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisor científico: Marcelo José Della Mura Jannini

Capítulo 2
pH e Sistemas Tampões, 33
Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisor científico: Tiago Rezende Figueira

Capítulo 3
Aminoácidos e Proteínas, 63
Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisora científico: Aline Sampaio Cremonesi

Capítulo 4
Enzimas, 113
Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisora científica: Aline Sampaio Cremonesi

Capítulo 5
Carboidratos, 165
Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisor científico: Thiago da Rosa Lima

Capítulo 6

Lipídios, 193

Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisor científico: Thiago da Rosa Lima

Capítulo 7

Digestão Enzimática, Absorção e Metabolismo Energético dos Nutrientes, 223

Autora: Celene Fernandes Bernardes
Revisor científico: Tiago Rezende Figueira

Anexo

Reagentes e Equipamentos, 303

Índice Remissivo, 341