



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

VIVIANE OLIVEIRA DA SILVA

**O CONTEÚDO ENZIMAS NO ENSINO DE QUÍMICA: UM PANORAMA
DAS PROPOSTAS DIFUNDIDAS EM PERIÓDICOS NACIONAIS**

Recife

2023

VIVIANE OLIVEIRA DA SILVA

**O CONTEÚDO ENZIMAS NO ENSINO DE QUÍMICA: UM PANORAMA
DAS PROPOSTAS DIFUNDIDAS EM PERIÓDICOS NACIONAIS**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciada em Química.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano de A. C Marcelino Jr.

Recife

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586c

Silva, Viviane Oliveira da
O CONTEÚDO ENZIMAS NO ENSINO DE QUÍMICA: UM PANORAMA DAS PROPOSTAS
DIFUNDIDAS EM PERIÓDICOS NACIONAIS / Viviane Oliveira da Silva. - 2023.
149 f. : il.

Orientador: Cristiano de Almeida Cardoso Marcelino. Jr..
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Licenciatura em Química, Recife, 2023.

1. Ensino de Enzimas. 2. Ensino de Química. 3. Estado do conhecimento. I. Jr., Cristiano de Almeida
Cardoso Marcelino., orient. II. Título

CDD 540

VIVIANE OLIVEIRA DA SILVA

**O CONTEÚDO ENZIMAS NO ENSINO DE QUÍMICA: UM PANORAMA
DAS PROPOSTAS DIFUNDIDAS EM PERIÓDICOS NACIONAIS**

Aprovado em: 21 de setembro de 2023.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Cristiano de Almeida Cardoso Marcelino Jr.
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. José Euzebio Simões Neto
Universidade Federal Rural de Pernambuco
1º avaliador (a)

Prof. Dr. João Roberto Ratis Tenório da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco
2º avaliador

Ao meu esposo, Rodrigo Souza, que sempre me acompanhou e me apoiou nesta difícil jornada. À minha filha, Lívia, que sempre me deu muita força. Aos meus pais, João e Cristina, que são exemplos de força e dedicação e sempre me mostraram que a educação é o melhor caminho a seguir. Às minhas irmãs, Cristiana e Ana Cristina, que sempre estão comigo nos momentos que preciso.

AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo que se encerra, e isso só foi possível graças a todos que estiveram ao meu lado nessa jornada. Estes parágrafos certamente não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já, peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a Deus pela vida e por ter me fornecido forças para continuar, depois de uma longa jornada, e chegar à conclusão deste Curso.

Agradeço aos meus pais, pois sem eles não teria conseguido chegar até aqui. Foi com eles que aprendi o quanto os estudos são importantes e que as melhores coisas da vida estão presentes na humildade, simplicidade e na sinceridade entre as pessoas.

Não posso deixar de agradecer ao meu esposo, Rodrigo Souza, que sempre me apoiou, e nos momentos que pensei em desistir sempre me lembrou do quanto eu sou forte e capaz de chegar até o fim.

Agradeço à minha filha, minha flor, que é um estímulo em minha vida. Ela e meu esposo são meu porto seguro.

Agradeço à orientação do professor Cristiano Marcelino Jr. que, mesmo muito ocupado e com bastante atividades e aulas para ministrar, fez uma excelente orientação, dedicando seu tempo para que fosse possível realizar a conclusão dessa monografia.

Agradeço também aos professores Prof. Dr. José Euzebio Simões Neto e ao Prof. Dr. João Roberto Ratis Tenório da Silva, por aceitarem participar da banca e serem meus avaliadores. E aos demais professores da UFRPE, pois sem eles essa jornada não seria possível.

Agradeço aos meus familiares, que sempre estiveram presentes de alguma forma.

Gostaria de deixar registrado também o meu reconhecimento aos colegas de sala, à secretaria e à coordenação do Curso de Licenciatura em Química.

Enfim, agradeço a todos que, por algum motivo, contribuíram para a realização dessa pesquisa.

Estudar as biomoléculas é entender a vida do ponto de vista molecular; é compreender sua estrutura química e perceber como ela está relacionada às suas funções nos organismos.

(BRASIL, 2020).

RESUMO

A pesquisa realizada foi de natureza documental, descritiva e exploratória, e se aproxima das investigações do estado do conhecimento com o objetivo principal de oferecer uma visão panorâmica de uma parte importante da produção acadêmica brasileira sobre o ensino do conteúdo enzimas, pela análise dos artigos publicados em alguns dos principais periódicos nacionais nos quais a comunidade de Educação Química dissemina os resultados dos seus estudos. Adotou-se como documentos primários os artigos publicados em 12 (doze) periódicos com Qualis CAPES. O percurso metodológico foi desenhado em consonância com a perspectiva de Morosini, seguindo as etapas da bibliografia anotada, sistematizada, categorizada e propositiva. De um total 8.303 de artigos consultados, 56 versavam sobre enzimas, mas apenas 13 (treze) constituíram o *corpus* da pesquisa, por serem direcionados ao ensino de enzima. Uma análise de conteúdo permitiu o estabelecimento de categorização dos achados. Esses trabalhos estão preferencialmente destinados ao Ensino Superior, 10 artigos, enquanto 4 artigos são voltados ao Ensino Médio e 2 ao Ensino Tecnológico; 3 trabalhos propõem atividades destinadas a mais de um nível de ensino. Os principais gêneros de trabalhos são: i) pesquisa educacional: 4 artigos; ii) desenvolvimento de atividade experimental: 7 artigos; e iii) relato de experiência didática, 2 artigos. A experimentação é a temática principal em 10 dos artigos investigados – 9 em atividade enzimática e 1 em propriedades das enzimas, enquanto a modelagem é a temática nos outros 3 artigos. Os conteúdos abordados são atividade enzimática (catálise), inibição e inativação; funções das enzimas; e modelo enzima-substrato. Nos artigos, há prioridade da relação experimentação + atividade enzimática (9), quando comparada com as demais categorias: modelagem + modelo enzima-substrato (3) e experimentação + propriedades (1). As atividades com experimentos de baixo custo, tanto voltados para o Ensino Superior quanto para Ensino Médio, são as principais estratégias didáticas utilizadas. A modelagem com modelos 3D ou computacionais também é utilizada, assim como videoaulas com experimentos simulados e um jogo didático adaptado. É importante também que se invista no desenvolvimento de propostas que considerem os processos formativos nos diferentes níveis de ensino de Química, incluindo a formação superior. Nesse sentido, é necessário o estímulo à oferta de momentos formativos que estimulem discussões e reflexões no ensino e na formação de professores, e de outros profissionais, sobre a modelagem computacional com fins didáticos. Em associação a esses aspectos, um campo de interesse e ainda carente de ações é o de ensino não presencial. Por isso, é preciso se incentivar o desenvolvimento de estudos e a produção de instrumentos/produtos didáticos sobre o conteúdo enzimas para o ensino virtual, principalmente com os recursos das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação. Também é importante se estimular o desenvolvimento estratégias que sejam opções à experimentação e à modelagem.

Palavras-chave: Ensino de enzima. Estado do conhecimento. Ensino de química.

ABSTRACT

The research carried out was documentary, descriptive and exploratory in nature, and approaches investigations into the state of knowledge with the main objective of offering a panoramic view of an important part of Brazilian academic production on the teaching of enzymes content, through the analysis of published articles in some of the main national journals in which the Chemical Education community disseminates the results of its studies. Articles published in 12 (twelve) journals with Qualis CAPES were adopted as primary documents. The methodological path was designed in line with Morosini's perspective, following the steps of the annotated, systematized, categorized and propositional bibliography. Of a total of 8,303 articles consulted, 56 dealt with enzymes, but only 13 (thirteen) constituted the research corpus, as they were aimed at teaching enzymes. A content analysis allowed the establishment of categorization of the findings. These works are preferably aimed at Higher Education, 10 articles, while 4 articles are aimed at Secondary Education and 2 at Technological Education; 3 works propose activities aimed at more than one level of education. The main genres of work are: i) educational research: 4 articles; ii) development of experimental activity: 7 articles; and iii) report of teaching experience, 2 articles. Experimentation is the main theme in 10 of the articles investigated – 9 on enzyme activity and 1 on enzyme properties, while modeling is the theme in the other 3 articles. The contents covered are enzymatic activity (catalysis), inhibition and inactivation; enzyme functions; and enzyme-substrate model. In the articles, the relationship between experimentation + enzymatic activity (9) is prioritized, when compared to the other categories: modeling + enzyme-substrate model (3) and experimentation + properties (1). Activities with low-cost experiments, both aimed at Higher Education and Secondary Education, are the main teaching strategies used. Modeling with 3D or computational models is also used, as well as video classes with simulated experiments and an adapted educational game. It is also important to invest in the development of proposals that consider training processes at different levels of Chemistry education, including higher education. In this sense, it is necessary to encourage the provision of training moments that stimulate discussions and reflections in the teaching and training of teachers, and other professionals, on computational modeling for didactic purposes. In association with these aspects, a field of interest that still lacks action is non-face-to-face teaching. Therefore, it is necessary to encourage the development of studies and the production of teaching instruments/products on enzyme content for virtual teaching, mainly with the resources of Digital Information and Communication Technologies. It is also important to encourage the development of strategies that are options for experimentation and modeling.

Keywords: Enzyme teaching. State of knowledge. Chemistry teaching.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Representação genérica de um α -aminoácido.....	31
Figura 2: Representações dos enantiômeros do α -aminoácido alanina.....	31
Figura 3: Representação das ligações peptídicas entre quatro aminoácidos, destacando os seus grupos laterais, e o grupo amino livre no início da cadeia e o grupo carboxila livre no final da cadeia	32
Figura 4: Representação da configuração <i>trans</i> de um peptídeo (os grupos R ligados aos carbonos α estão em lados alternados).....	33
Figura 5: Conformações das estruturas secundárias das proteínas	34
Figura 6: Conformações das estruturas secundárias das proteínas	35
Figura 7: Constituintes de uma enzima (holozima).....	39
Figura 8: Sítio ativo da catálise enzimática.....	40
Figura 9: Representação esquemática do modelo proposto por Fischer.....	40
Figura 10: Representação do modelo do encaixe induzido.	41
Figura 11: Aminoácidos envolvidos na catálise geral ácido-base.	42
Figura 12: Esquema da reação de catálise enzimática ácido-base da síntese e hidrólise da acetilcolinesterase (AChE), a enzima responsável por hidrolisar o neurotransmissor acetilcolina (ACh) nas sinapses colinérgicas.....	43
Figura 13 - Esquema da hidrólise da ACh no sítio ativo da AChE.	44
Figura 14: Exemplos de nucleófilos e eletrófilos envolvidos nas catálises enzimáticas.	45
Figura 15: Descarboxilação do acetoacetato, não catalisada e catalisada por aminas primárias.....	46
Figura 16: Exemplo de catálise enzimática covalente: a descarboxilação para formação de corpos cetônicos.....	47
Figura 17: Maneiras de um íon metálico aumentar a velocidade de uma reação.	48
Figura 18: Mecanismo da prolina-racemase, uma catálise enzimática baseada nos efeitos de proximidade e orientação.....	50
Figura 19: Equações de reações enzimáticas com oxirredutases.....	52
Figura 20: Equações de reações enzimáticas com transferases.....	52
Figura 21: Equações de reações enzimáticas com hidrolases.....	53

Figura 22: Equações de reações enzimáticas com liases.	53
Figura 23: Equações de reações enzimáticas com isomerasas.	53
Figura 24: Equações de reações enzimáticas com ligases.....	54
Figura 25: Curvas de velocidade de reação catalisada por enzima.	57
Figura 26: Inibição enzimática competitiva, reversível.	59
Figura 27: Inibição enzimática não competitiva.	59
Figura 28: Inibição enzimática incompetitiva.	60
Figura 29: Exemplo de inibição enzimática irreversível, a reação de inativação da cicloxigenase por reação irreversível com aspirina (ácido acetilsalicílico).	61
Figura 30: Exemplos da utilização de diferentes tipos de enzimas nas etapas do processo têxtil.	70
Figura 31: Utilização de uma ceto redutase para a síntese de um fármaco utilizado para tratamento de asma.	71
Figura 32: Percurso metodológico seguido na pesquisa.....	89

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dados do mercado mundial de enzimas.	73
Gráfico 2: Distribuição dos artigos no conjunto de periódicos investigados, por ano de publicação.	101

LISTAS DE TABELAS

Quadro 1: Alguns eventos da linha temporal do desenvolvimento do conceito de enzimas.	29
Quadro 2: Classificação das enzimas, de acordo com o <i>Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology</i>	52
Quadro 3: Enzimas utilizadas em formulações de detergente e limpadores líquidos utilizados em procedimentos domésticos, institucionais e industriais.	67
Quadro 4: Exemplos de algumas enzimas utilizadas na extração e no beneficiamento do petróleo.	68
Quadro 5: Fármacos disponíveis no mercado, que são inibidores enzimáticos.	72
Quadro 6: Aplicações clínicas do diagnóstico enzimático.	73
Quadro 7: Propostas de etapas para pesquisas em Estado do Conhecimento.	81
Quadro 8: Modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia sistematizada.	83
Quadro 9: Modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia categorizada.	85
Quadro 10: Modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia propositiva.	87
Quadro 11: Conjunto de periódicos nacionais escolhidos para análise.	91
Quadro 12: Ênfases de publicações dos periódicos selecionados.	92
Quadro 13: Distribuição de artigos envolvendo a temática enzima nos periódicos nacionais investigados.	98
Quadro 14: Exemplo de um trabalho excluído na etapa de bibliografia sistematizada, por não possuir o foco no ensino de enzimas.	99
Quadro 15: Informações sobre os artigos selecionados para o <i>corpus</i> da pesquisa.	100
Quadro 16: Informações sobre os artigos selecionados para o <i>corpus</i> da pesquisa.	103
Quadro 17– Síntese da categorização utilizada na etapa da bibliografia categorizada.	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1 ENZIMAS: UM COMPONENTE CURRICULAR NECESSÁRIO À QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO	22
2.2 A CONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ENZIMAS	25
2.3 A NATUREZA DAS ENZIMAS COMO BIOCATALISADORES PROTEICOS	29
2.4 A ATIVIDADE ENZIMÁTICA	38
2.4.1 Principais Tipos de Catálise Enzimática	41
2.4.1.1 Catálise Ácido-base	41
2.4.1.2 Catálise Covalente	44
2.4.1.3 Catálise por Íons Metálicos;	47
2.4.1.4 Catálise Enzimática por Efeitos de Proximidade e Orientação	48
2.5 NOMENCLATURA E CLASSIFICAÇÃO DAS ENZIMAS	51
2.6 A INFLUÊNCIA DO MEIO SOBRE A ATIVIDADE ENZIMÁTICA	54
2.6.1 Influência da Temperatura Sobre a Atividade Enzimática	55
2.6.2 Influência do pH Sobre a Atividade Enzimática	56
2.6.3 Influência do Tempo Sobre a Atividade Enzimática	56
2.6.4 Influência da Concentração Sobre a Atividade Enzimática	57
2.7 INIBIDORES ENZIMÁTICOS	57
2.7.1 A Inibição Enzimática Reversível	58
2.7.2 A Inibição Enzimática Irreversível	60
2.8 APLICAÇÕES DAS ENZIMAS	62
2.9 PRODUÇÃO ENZIMÁTICA	74
2.10 A INVESTIGAÇÃO SOBRE O CONHECIMENTO PRODUZIDO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA: UMA POSSIBILIDADE PARA CONTRIBUIR PARA O ENSINO DE ENZIMA NA ESCOLA	77

3 METODOLOGIA	89
3.1 PERCURSO ADOTADO NAS ETAPAS DA REALIZAÇÃO DO ESTADO DO CONHECIMENTO.....	89
3.1.1 Bibliografia Anotada	90
3.1.1.1 Definição dos Descritores e dos Critérios de Delimitação do Corpus.	90
3.1.1.2 Levantamento dos Trabalhos nas Fontes Escolhidas	95
3.1.2 Bibliografia Sistematizada.....	95
3.1.3 Bibliografia Categorizada	95
3.1.4 Bibliografia Propositiva	96
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
5 CONSIDERAÇÕES.....	108
REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE A – ARTIGOS SOBRE ENZIMAS ENCONTRADOS NOS PERIÓDICOS INVESTIGADOS.	119
APÊNDICE B - MATRIZ DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA ETAPA DE BIBLIOGRAFIA SISTEMATIZADA.....	128
APÊNDICE C - MATRIZ DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA ETAPA DE BIBLIOGRAFIA CATEGORIZADA.....	135
ANEXO D - MATRIZ DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA ETAPA DE BIBLIOGRAFIA PROPOSITIVA.	146

1 INTRODUÇÃO

O contato com as disciplinas relacionadas à Didática da Química ao longo da minha formação acadêmica me motivou a realizar a monografia voltado à pesquisa em Educação em Química. O interesse por essa área da Química surgiu junto com o entendimento quanto ao seu papel para uma melhor compreensão das características e dos problemas em torno do ensino-aprendizagem de conceitos químicos. Nessa direção, pretendi vivenciar um processo formativo que investigasse o processo de ensino-aprendizagem do conhecimento químico, mas também a sua interação com outras áreas do conhecimento.

Tanto a Química quanto o Ensino de Química são áreas que vêm incorporando novos conceitos e novos referenciais. Ao mesmo tempo em que fortalecem a integração entre as tradicionais subdisciplinas da Química, essas tendências desafiam as suas fronteiras e estimulam uma diversidade de pesquisas em Educação Química e a sua relação com os diferentes níveis de ensino.

As pesquisas em Educação Química buscam, principalmente: identificar as variáveis que afetam o ensino-aprendizagem, e propor e avaliar modelos para o aperfeiçoamento desse processo em sala de aula (SCHNETZLER, 2004). Uma das possibilidades nessa direção é observar o seu próprio desenvolvimento, investigando-se o que se tem produzido e como se tem produzido. Dentro dessa compreensão as pesquisas bibliográficas-documentais podem suscitar um conhecimento importante e necessário para uma autorreflexão sobre os caminhos seguidos e as lacunas existentes em termos de pesquisas. É dentro desafio que a pesquisa aqui proposta está alicerçada.

A análise da produção brasileira em Educação Química tem sido objeto de estudo de algumas pesquisas mais específicas. Compreendidas como “estado da arte” ou “estado do conhecimento”, essas investigações de caráter bibliográfico têm se voltado ao mapeamento e à discussão em torno da produção dentro de variados campos. Assim como acontece em outras áreas, tais trabalhos procuram estabelecer aspectos e dimensões enfatizadas e priorizadas em épocas e lugares distintos, e sobre as formas e as condições de produção. Nessa perspectiva, o desenvolvimento de uma pesquisa com o estado do conhecimento no trabalho de conclusão de Curso buscou a vivência de uma atividade formativa e instrumental voltada tanto à leitura de realidade do que está sendo discutido na comunidade acadêmica, quanto às

aprendizagens para desenvolvimento do percurso investigativo e para escrita do texto monográfico.

Tendo em vista o considerável aumento de estudos dedicados à Educação em Química no Brasil, decidiu-se somar esforços para um melhor conhecimento e sua compreensão, especificamente, pela produção socializada em ensino de Bioquímica no Ensino Médio, que é considerado por alguns um campo pouco investigado (SILVA; MENEZES, 2020). O desafio em realizar uma pesquisa bibliográfica-documental nesse segmento, sob o viés do Ensino de Química, resultou na adoção de um recorte, impulsionado pelo interesse em investigar as produções sobre o ensino-aprendizagem de um grupo específico de biomoléculas: as enzimas.

As biomoléculas são substâncias fundamentais na constituição de todos os organismos vivos e auxiliam nos seus mais variados processos. Esses compostos naturais contribuem para o funcionamento da célula, um sistema biológico extremamente complexo, mas que, quimicamente, seus componentes básicos são relativamente simples. Considerando sua relevância, esse é um tipo de conhecimento historicamente incorporado como conteúdo escolar.

Estudar as biomoléculas é entender a vida do ponto de vista molecular; é compreender sua estrutura química e perceber como ela está relacionada às suas funções nos organismos (BRASIL, 2020). Particularmente no Ensino Médio, esse estudo ocorre de forma mais sistemática e detalhada, pois, as biomoléculas são abordadas dentro de conteúdos relacionados às substâncias do metabolismo primário, ou seja, aquelas ligadas às questões energéticas e estruturais, notadamente: carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e proteínas. Científica e curricularmente, as enzimas são estudadas dentro do grupo das proteínas.

As proteínas são as macromoléculas biológicas mais abundantes e o produto da manifestação genética, sendo responsáveis pela mediação de grande parte dos processos orgânicos (MALAJOVICH, 2004). Elas ocorrem em todas as células, e em todas as suas partes, controlando praticamente todos os processos, nos quais exibem uma diversidade de funções e propriedades, como: estrutura, defesa, motilidade, transporte, sinalização e catálise (NELSON; COX, 2014).

As composições químicas proteicas e suas respectivas estruturas tridimensionais resultam em formas espaciais bem definidas, que são determinantes para a função biológica exercida em uma dada célula. Por exemplo, é a estrutura molecular que explica por que as proteínas fibrosas (como os filamentos da actina e

miosina) conseguem reter a água em suas moléculas e as proteínas globulares (como a caseína do leite) não têm essa capacidade de retenção de água. Outro grupo de proteína globulares são as enzimas, os catalisadores biológicos.

As enzimas são moléculas especializadas, basicamente de origem proteica, essenciais para o sistema metabólico dos seres vivos. Essas macromoléculas catalíticas atuam controlando a velocidade e regulando as reações químicas dos organismos, pois são capazes de diminuir a energia de ativação da reação, consequentemente aceleram a velocidade sem serem consumidos no processo, sendo totalmente recuperados ao final da reação (MURRAY *et al.*, 2014). O domínio de conceitos relacionados às enzimas pode favorecer a alfabetização científica e auxiliar os estudantes na compreensão de diferentes situações do dia-dia.

As enzimas viabilizam uma enorme quantidade de reações biológicas. Em todos os eventos metabólicos, elas canalizam seletivamente os reagentes (chamados substratos) para rotas úteis, atuando na quebra de moléculas grandes em moléculas menores (reações catabólicas) ou na construção de moléculas grandes a partir de moléculas menores (reações anabólicas). Com isso, elas são necessárias aos processos biológicos, como a digestão de alimentos (amilases, sacarases e proteases), a síntese de proteínas e DNA (DNA polimerase, a produção de energia e a eliminação de resíduos metabólicos (catalase). Outro exemplo da ação enzimática está na bioluminescência, a emissão de luz fria e visível por seres vivos, que é observada em vários organismos - de bactérias, insetos, até peixes - e é intermediada por enzimas chamadas de luciferases.

As reações enzimáticas também ocorrem ao longo do processamento e armazenamento de alimentos, conforme acontece com os aromas. O aroma da cebola é devido à ação de alinase sobre os sulfóxidos existentes. Além disso, há muitas reações enzimáticas indesejáveis, que comprometem a qualidade dos produtos.

Há uma variedade de enzimas que podem ser obtidas de animais (pancreatina, tripsina, quimotripsina, pepsina, renina e outras) ou vegetais (papaína, bromelina, ficina e outras). Porém, os microrganismos continuam sendo a principal fonte de enzimas de aplicação industrial e tal utilização vem sendo bastante reforçada com o uso da modificação genética desses seres vivos. Com isso, aumenta a tendência de substituição das enzimas produzidas por vegetais e animais pelas de origem microbiana.

A capacidade de utilizar microrganismos, misturas e/ou substâncias naturais, de natureza enzimática para promover e acelerar reações químicas tem sido desenvolvida e usada pela humanidade há milênios. Ao longo da história, esse material foi inicialmente empregado para modificar alimentos, por exemplo: na fermentação de grãos e frutas, para produção de pães, vinhos e outras bebidas alcoólicas, como a cerveja; e na alteração do leite e produção de queijos. Porém, as enzimas passaram a ser cada vez mais empregadas, principalmente, a partir do século XIX, à medida que os cientistas desvendaram suas atuações em diferentes organismos (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021). Com isso, ampliaram-se suas utilizações na área de alimentos e em muitos outros segmentos, tanto nas escalas laboratoriais quanto industriais, gerando uma multiplicidade de aplicações tais como, nos setores: de análises biológicas, médico, têxtil, farmacêutico, químico, de papel e celulose e ambiental. Conseqüentemente, há uma multiplicidade de usos de enzimas nas mais diversas atividades humanas, conforme verificado: i) nos testes de diagnóstico clínico/bioquímico *in vitro*; ii) na formulação de medicamentos com função digestiva, antimicrobianos, anti-inflamatórios, e para tratamento de coágulos sanguíneos (a exemplo da estreptoquinase, empregada como agente antitrombótico), de câncer (conforme a L-asparaginase, usada no tratamento de leucemia), de fibrose, entre outros; e iii) na enzimocosmética, a exemplo das proteases, que possuem ação comprovada no tratamento de estrias, formulações depilatórias e peelings (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020; MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES, 2007).

Algumas enzimas também possuem diversos usos, como acontece com bromelina, uma enzima proteolítica cuja fonte principal é o abacaxi (*Ananas comosus*). A importância econômica da bromelina está baseada em sua atividade proteolítica que a habilita na produção de fármacos (destinados ao tratamento de distúrbios digestivos, feridas e inflamações, e no preparo de colágenos hidrolisados), na sua utilização na indústria alimentícia (na clarificação de cervejas, na fabricação de queijos, no amaciamento de carnes, no preparo de alimentos infantis e dietéticos, entre outros), na indústria têxtil (para amaciamento de fibras) e também na indústria de produtos de limpeza (na produção de detergentes).

As enzimas possuem uma alta especificidade para o seu substrato e para que sua atividade se mantenha estável são necessárias algumas condições ideais, como temperatura e pH (NELSON; COX, 2014). Modificações nesses parâmetros podem interferir em suas estruturas tridimensionais e afetarem suas funções biológicas.

Sendo assim, a compreensão desses fatores remete à necessidade de se entender a lógica molecular das estruturas presentes as proteínas para o funcionamento do metabolismo celular e das aplicações enzimáticas. Portanto, a abordagem sobre enzimas não deve estar desvinculada das proteínas e exige um tratamento bioquímico, ou seja, precisa ter uma conexão muito próxima entre a Química e a Biologia, pois essas duas áreas de estudo são complementares e fundamentais para se compreender o funcionamento dos sistemas biológicos. Adicionalmente, verifica-se que o estudo das proteínas, e particularmente das enzimas, implica na necessidade de uma abordagem interdisciplinar e contextualizada.

A contextualização tem por finalidade inter-relacionar conhecimentos diferentes, promovendo a construção de novos significados (RODRIGUES et al., 2016). Sem esse tipo de associação, a apropriação dos conhecimentos é prejudicada. Porém, no Ensino Médio, a abordagem desse conteúdo normalmente é pouco contextualizada e segue centrada nas apresentações constantes nos livros didáticos de Química e de Biologia, em que normalmente é implantado um tratamento disciplinar, fracionado, compartimentalizado e restrito a exemplos associados a algumas ilustrações (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021).

A abordagem do conteúdo proteínas na disciplina de Biologia do Ensino Médio, em geral, consta nos primeiros capítulos dos livros do 1º ano. Com base nesse contexto, é comum o professor tratar apenas da importância e funções das proteínas, sem fazer uma conexão mais relacional com suas estruturas químicas. Por sua vez, na disciplina de Química, esse conteúdo consta no currículo do 3º ano e é mais vinculado aos aspectos simbólicos-representacionais estruturais, com baixa relação com suas propriedades e aplicações. No entanto, em muitas escolas, especialmente nas públicas, dificilmente ele é abordado no ensino escolar de Química porque, em geral, ele é situado nos livros e nos planejamentos didáticos apenas na última Unidade e, muitas vezes, não há tempo hábil para ensiná-lo. Nesses casos, os estudantes perdem a oportunidade de adquirir conhecimentos sobre diferentes aspectos relacionados às propriedades e aplicações das proteínas, associados a questões estruturais, conforme acontece particularmente com o conteúdo enzimas.

Diante das considerações tecidas, surgiu o problema para a pesquisa desenvolvida: qual tem sido a produção brasileira em Educação Química sobre o ensino do conteúdo enzimas no século XXI? Para dar respostas a esse problema e

contribuir com esse objeto de pesquisa, foram propostos alguns objetivos, segundo indicado a seguir.

Analisar os artigos publicados em alguns dos principais periódicos nacionais nos quais a comunidade de Educação Química dissemina os resultados dos seus estudos, sobre o tema enzimas no Ensino de Química.

Identificar as principais ênfases desses trabalhos: revisão, relato de experiência, proposta de instrumento/atividade didática ou pesquisa educacional. Verificar o nível de ensino aos quais estão destinados. Determinar os assuntos referentes ao conteúdo enzima que são priorizados. Reconhecer as possíveis estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo.

O estado do conhecimento é um tipo de metodologia bibliográfica cada vez mais utilizado para analisar e estabelecer o estado corrente das pesquisas em determinada área do conhecimento. Em educação, percebe-se, ao longo dos últimos anos, a incidência de pesquisas do tipo Estado do Conhecimento, não somente para integrar os textos de teses e dissertações, mas também, entre outras como iniciativas de grupos de pesquisa e escrita de artigos científicos.

Os trabalhos de caráter bibliográfico têm ocupado uma posição discreta na pesquisa brasileira em Educação em Química, conforme pode ser verificado no amplo levantamento realizado por Alexandrino e Queiroz antes da pandemia em relação às pesquisas do tipo estado arte nesse campo, efetuadas entre 2000 e 2016. Apesar de apontarem a identificação de quinze artigos que investigam um conjunto de teses e dissertações, artigos ou trabalhos apresentados em anais de eventos, essas autoras destacam a preferência por utilização de artigos da revista Química Nova na Escola como fonte de dados.

Pioneiro nesse sentido, o trabalho de Bejarano e Carvalho (2000) analisa o desenvolvimento da área com base na produção acadêmica de teses de doutorado e dissertações de mestrado, defendidas no período de 1972 a 1996, e de artigos publicados na revista Química Nova (seção Educação) e Química Nova na Escola, no período de 1995 a 1998. Na mesma direção, Schnetzler (2002) investigou os artigos da revista Química Nova na Escola e Química Nova (seção Educação), os trabalhos apresentados na seção de Ensino de Química das Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e os resumos de teses de doutorado e dissertações de mestrado produzidas na área, no intervalo de 1977 a 2001. Existem também outros esforços para caracterizar a produção sobre o ensino de Química com base na análise

dos trabalhos apresentados em eventos e revistas da área, como as Reuniões Anuais da SBQ (FRANCISCO; QUEIRÓZ, 2005), os Encontros Nacionais de Ensino em Química - ENEQ, (PÉREZ *et al.*, 2007) e os Encontros de Debates sobre o Ensino de Química - EDEQ (FRANCISCO; QUEIROZ, 2005).

Há estudos cujo foco são a Pós-Graduação. Por exemplo, Rezende e Milaré (2010) revelam as tendências e características exclusivas às pesquisas desenvolvidas na pós-graduação, tendo como foco a Pesquisa em Ensino de Química da Universidade de São Paulo, caracterizando e comparando a produção acadêmica (Teses e Dissertações) dessa área em cada um dos programas de pós-graduação, no período de 1985 a 2008. Em uma pesquisa na mesma direção Francisco e Queiroz (2010) fazem um levantamento e discutem a produção acadêmica brasileira sobre o ensino de Química no Brasil, a partir da análise de dissertações de mestrado e teses de doutorado produzidas nos Programas de Pós-Graduação alocados na área de Ensino de Ciências e Matemática - área 46, filiados à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal em Nível Superior (CAPES), no período compreendido entre 2000 e 2008. Essas publicações trazem uma análise de trabalhos que abordam o ensino de Química em função dos seguintes aspectos: ano de apresentação, origem dos autores (a instituição de origem do trabalho e/ou região geográfica a que pertence o Programa de Pós-Graduação), o nível de escolaridade abrangido e o foco temático de estudo. Eles permitem ter uma visão do desenvolvimento da área, em especial quanto à relação cronológica da quantidade de publicações em diferentes campos.

Carvalho e Bejarano (2000) consideram que essas pesquisas em estado da arte se constituem em uma forma de ver o ensino de Química. As análises desses e dos demais autores sobre a produção de dissertações, teses, trabalhos das Reuniões Anuais da SBQ e artigos da revista Química Nova na Escola, indicam o vigor crescente da produção da área e o alinhamento teórico das pesquisas conduzidas no País, com os paradigmas adotados nas investigações internacionais sobre o Ensino de Ciências. Além disso, tais estudos apontam para uma alta concentração de pesquisa no Brasil, embora a quantidade de pesquisadores em Educação Química ainda é pequena.

Schnetzler (2002) faz uma interessante análise da pesquisa em ensino de Química, na qual analisa a Química Orgânica, a qual, tradicionalmente, o ensino de enzimas é vinculado, e verifica que nos 104 números da revista Química Nova, volumes 1 a 24, publicados de 1977 a 2001, 78 deles contêm trabalhos sobre ensino de Química. Em termos das áreas de conhecimento tradicionais da Química, a maioria

dos artigos foi dirigida à Química Geral e inorgânica (59), seguida pelas disciplinas de Química Orgânica (26), Físico-Química (22) e Analítica (17). Schnetzler constatou nesses artigos certo predomínio de propostas de atividades experimentais (52 trabalhos) nos quais a discussão de resultados limita-se aos dados experimentais da prática proposta. Nesses casos, esses artigos não discutiam resultados referentes ao processo de ensino-aprendizagem de tais atividades. Além disso, a pesquisadora observou que, mesmo quando há referências a tal processo, em geral, elas se restringem a conclusões genéricas, sem a inclusão e discussão de dados que as suportem.

A interdisciplinaridade intrínseca ao conteúdo biomoléculas faz com que o conteúdo de bioquímica do Ensino Médio possa compreender um nicho temático muito rico e promissor para o ensino e para a pesquisa educacional (FRANCISCO JÚNIOR, 2007). A significância desse campo ganha destaque adicional por meio de relatos docentes sobre as dificuldades na abordagem da Bioquímica no Ensino Médio, conforme descrito, há mais de vinte anos, na pesquisa realizada por Santos e Schnetzler (1996), junto a professores de Química, e cujo cenário aparenta continuar sendo mantido. Junto a isso, dentro das bases de pesquisas bibliográficas utilizadas, não foram encontradas menções a trabalhos de pesquisa bibliográfica documental sobre o ensino de enzimas. Esses aspectos corroboraram para o interesse no desenvolvimento da pesquisa aqui apresentada.

O texto seguinte está estruturado de tal modo a tentar harmonizar alguns aspectos a serem revisados, que se constituem nas categorias para referencial teórico e na metodologia da pesquisa. O capítulo 2 traz uma fundamentação teórica contendo uma síntese a respeito do ensino-aprendizagem do ensino de biomoléculas, especialmente quanto às proteínas. O capítulo 3 traz o percurso metodológico seguido na pesquisa. No capítulo 4, apresenta-se e discute-se os resultados obtidos e, por fim, nas considerações finais, é feita uma síntese relacional entre os resultados e os objetivos propostos, e alguns comentários sobre a experiência formativa em torno desta monografia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo traz uma abordagem no sentido de destacar as enzimas como um componente curricular necessário à Química do Ensino Médio, trazendo subsídios para fundamentar a importância de se pesquisar o interesse da comunidade em Educação Química sobre esse conteúdo bioquímico, nesse nível de escolaridade. Esta parte do texto é dividida em quatro tópicos principais. O primeiro abrange a construção histórica do conceito de enzimas e aspectos relacionados à natureza, à tipologia e à atividade catalítico-proteica. Apesar de esse tópico ser ilustrado com diferentes exemplos, as aplicações das enzimas são destacadas em um tópico específico, o segundo. O terceiro tópico segue nessa linha, direcionando-se à produção enzimática. Considerando a tessitura elaborada nos três primeiros, o quarto e último tópico traz uma abordagem sobre as bases das pesquisas em estado da arte, situando-as como uma possibilidade para a investigação sobre o conhecimento da produção sobre o ensino de enzimas na Educação Química

2.1 ENZIMAS: UM COMPONENTE CURRICULAR NECESSÁRIO À QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO

A Química é uma ciência que interage com muitas outras áreas do conhecimento. Com a Biologia, ela estabelece uma interdisciplinaridade que é refletida de múltiplas formas, como acontece com Bioquímica. Ao mesmo tempo que a Química e a Biologia são duas áreas peculiares, na Bioquímica elas se complementam e fornecem subsídios para a explicação de muitos fenômenos e processos que ocorrem nos sistemas vivos (GOMES; RANGEL, 2006). É para esse entendimento que o estudante necessita estruturar o campo de ligação envolvendo as biomoléculas.

Biomoléculas envolve os conteúdos curricularmente associados à informação genética e ao metabolismo primário dos seres vivos: ácidos nucleicos, carboidratos, lipídios e proteínas. É dentro do conteúdo proteínas que se estuda as enzimas. A compreensão sobre essas biomoléculas é tão significativa que, de acordo com Kohler, (1973) e com Ventura, Freitas e Freire (2008), a história da Bioquímica pode ser contada a partir do desenvolvimento do conceito de enzimas.

Enzimas e os demais conteúdos de Bioquímica estão presentes em todo o currículo de Ciências da Educação Básica, realçando sua característica

interdisciplinar. Porém, no Ensino Médio, em geral, a Bioquímica recebe um tratamento disciplinar, tanto no componente curricular Química quanto no de Biologia. Na disciplina de Biologia escolar há priorização por aspectos fisiológicos e morfológicos. Conforme destacam Silva e Barbosa (2019, p.524):

O conteúdo sobre enzimas na grade curricular do Ensino Médio na disciplina de Biologia aborda conceitos gerais em vários temas, como: Metabolismo e Respiração Celular, Fotossíntese, Digestão, Biologia Molecular, dentre outros. Porém, o ensino sobre enzimas tem sido discutido de forma abstrata para os alunos da rede escolar.

Já a abordagem das biomoléculas na disciplina de Química se direciona mais às características estruturais, funções e aplicações de substâncias do metabolismo primário dos organismos vivos (FRANCISCO JUNIOR, 2007). No entanto, seja qual for a opção seguida, pedagogicamente, enzimas é um componente necessário ao conteúdo bioquímico escolar e para sua compreensão é imprescindível o domínio de aspectos relacionados às proteínas.

As proteínas são biomoléculas estruturalmente diferentes, extremamente versáteis e fundamentais para a vida. A diversidade estrutural e a polifuncionalidade das proteínas também ressaltam a importância da abordagem desse conteúdo na escola. Os conceitos, as propriedades e as aplicações relacionados a enzimas, aminoácidos, peptídeos e proteínas estão entre os conteúdos historicamente incorporados ao currículo químico-escolar, e a sua abordagem continua sendo recomendada até hoje, como pode ser visto na Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018). Além de ser um direito historicamente construído de acesso ao conhecimento produzido pela humanidade, o estudo sobre proteínas na escola é importante para a formação da cidadania.

A apropriação de conceitos relacionados a esse conteúdo pode auxiliar o indivíduo no reconhecimento das proteínas na composição química dos organismos e dos alimentos, e sobre o seu papel na relação entre alimentação e saúde, por exemplo. Entre outros aspectos, o domínio de conceitos dentro desse conteúdo pode possibilitar as pessoas a: melhorarem os seus hábitos alimentares; se posicionarem frente a outras questões nutricionais; e agregarem conhecimentos científicos nos desempenhos de atividades produtivas envolvendo produtos de base proteica. Porém, apesar da importância curricular, alguns trabalhos publicados na área de Educação em Ciências têm destacado certas dificuldades no ensino-aprendizagem em relação às proteínas, conforme acontece, de modo geral, com as biomoléculas.

As discussões escolares mais aprofundadas sobre biomoléculas ocorrerem no Ensino Médio; na Biologia, no 1º ano e na Química, no 3º, normalmente. Nesse nível de escolaridade, o conteúdo proteínas na disciplina de Química tem recebido uma organização curricular e uma abordagem historicamente vinculadas aos conteúdos tradicionalmente associados à Química Orgânica e, conforme destacaram Correia *et al.* (2004) e HENRIQUES *et al.* (2016), não tem sido tão evidenciado e continua sendo pouco explorado pelos professores. Adicionalmente, quando abordado, esses conteúdos têm sido tratados superficialmente, em geral (OLIVEIRA *et al.*, 2018) e de forma breve e mecânica (SANTOS *et al.*, 2020). Segundo ocorre com o ensino das biomoléculas, de modo geral, as proteínas fazem parte de um grupo de conteúdos distantes e de desinteresses para os estudantes, (SILVA; BRAIBANTE, 2021; SANTOS *et al.* 2020; PASSOS, 2017), que têm apresentado dificuldades na aprendizagem (LEITE, 2012).

A organização curricular do conteúdo químico ao longo da história do ensino no Brasil é apontada como um dos aspectos que gera entraves para a sua abordagem. Isso abrange o ensino de biomoléculas também. No Brasil, a desconexão curricular na abordagem do conteúdo enzimas nas disciplinas de Biologia e de Química incide na organização dos livros didáticos e no planejamento curricular da maioria das instituições educacionais. Com isso, na Química, seguindo uma distribuição linear de conteúdos, “proteínas” geralmente é destinado ao final do 3º ano do Ensino Médio. Desse modo, frequentemente, não há tempo didático para que ele seja contemplado, além do que muitos estudantes sequer têm aulas de Química Orgânica no nesse nível de escolaridade. Essas limitações contribuem para que o contato dos estudantes com os conteúdos de enzima seja bastante discreto, geralmente limitados à disciplina de Biologia (ALCÂNTARA; MORAES FILHO, 2015).

Outro aspecto problemático sobre a abordagem desse conteúdo na escola está na forma como ela é realizada. Frequentemente, as estratégias utilizadas são tediosas e centradas na ênfase memorística (CARVALHO *et al.*, 2012), centradas em nomes e estruturas químicas, e distanciada da realidade vivenciada pelos estudantes (ALCÂNTARA; MORAES FILHO, 2015). Figueira e Rocha (2016) também creditam que as dificuldades enfrentadas pelos estudantes para entenderem e relacionarem conteúdos envolvendo conceitos de Bioquímica se relacionam com o distanciamento das abordagens com o seu cotidiano. Essa situação contribui para que, quando ocorre no ensino de Química, a abordagem sobre proteínas seja limitada, desinteressante e

distanciada da realidade vivenciada pelos estudantes. Ao discutirem sobre essas questões, Silveira e da Rocha (2016) recomendam que, nas abordagens de Bioquímica na escola, é importante a utilização de metodologias alternativas, abrangendo diferentes estratégias e o desenvolvimento de recursos didáticos variados. Por isso, como tem sido sugerido, de modo geral, para as abordagens de conteúdos químicos na escola (BRASIL, 2018, 2009), é importante que o ensino-aprendizagem das biomoléculas abranja diferentes estratégias e a utilização de recursos didáticos variados para estimular a o ensino-aprendizagem em torno desse conteúdo tão importante para formação da cidadania. Particularmente em relação às enzimas, esse destaque é muito contributivo, uma vez que esses catalisadores biológicos exercem diversas funções nos organismos vivos, muitas delas aplicáveis pela humanidade em variadas atividades domésticas e industriais.

2.2 A CONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ENZIMAS

As enzimas são utilizadas pelo homem há milênios, através da transformação da uva em vinho, da cevada em cerveja, do trigo em pão, do leite em queijo (PALERMO, 2014). Porém, atribui-se que o conhecimento científico sobre a sua natureza e propriedades se iniciou somente em meados do século XIX e se desenvolveu rapidamente atrelado aos avanços da Química Orgânica e da Química de Proteínas, resultando na criação da Tecnologia Enzimática (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020).

A primeira teoria sobre enzimas só foi publicada em 1835, por Jöns Jacob Berzelius. Alguns anos depois, Louis Pasteur concluiu que a fermentação do açúcar em álcool pela levedura era catalisada por fermentos (enzimas) que por sua vez eram inseparáveis da estrutura das células vivas deste levedo (NELSON; COX, 2014). Então, Pasteur estabeleceu o conceito de que as enzimas eram células vivas. Porém, nessa mesma época, o químico alemão Justus von Liebig afirmou que a fermentação era provocada por substâncias químicas (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021).

O termo enzima foi introduzido pelo fisiologista alemão Alexander Wilhelm Kühne, em 1878. A etimologia de “enzima” deriva de *enzymos*, do grego medieval (*en*, em ou dentro, e *zymos*, leveduras) e foi utilizada por Kühne para designar a presença no levedo (fermento) de um princípio químico responsável por sua atividade

fermentativa de produzir etanol a partir de um açúcar, na ausência de oxigênio (VENTURA, FREITAS, FREIRE, 2008).

O primeiro registro do uso de enzimas ocorreu em 1783, quando Spallanzani observou a reação de degradação enzimática da carne pelo suco gástrico. Já a primeira enzima preparada a partir de tecido animal foi isolada pelo alemão Theodor Schwann, em 1836; a “pepsina”, substância é responsável pela digestão da albuminosa (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021). Os trabalhos realizados no século XIX, foram de grande importância para o estudo das enzimas, principalmente aqueles relacionados à fermentação.

Até o século XIX, existiam duas teorias relevantes sobre a fermentação e que dividiam os pesquisadores em dois grandes grupos: i) os vitalistas, cujo expoente foi Louis Pasteur (1822 - 1895), que consideravam as leveduras seres vivos e defendiam que a vida era indispensável para o processo; e ii) os mecanicistas, cujo destaque era Justus Von Liebig (1803-1873), que declaravam que os processos fermentativos não eram nada mais que transformações químicas (MIRANDA; LOFFREDO, 2005).

Dois aspectos referendaram a sustentação da teoria de que a fermentação ocorria por células vivas (NELSON; COX, 2014). Um deles foi o surgimento do microscópio, pois permitiu a comparação entre bactérias e leveduras. O outro foi o experimento em que a amostra era aquecida e mantida em anaerobiose, com isso a fermentação não se ocorre. Todo esse procedimento mostrava que a existência do oxigênio não era essencial e que para a fermentação ocorrer era preciso a presença de vida. Apesar de essa teoria reacender a discussão sobre o vitalismo e até mesmo sobre a geração espontânea (BRUICE, 2006), tais aspectos foram impactados com os resultados apresentados por Friedrich Wöhler (1800-1882), em 1828. Wöhler demonstrou que a ureia poderia ser sintetizada a partir de cianato de chumbo e hidróxido de amônia, provocando impacto negativo sobre as ideias vitalistas (KIELING, 2002). No entanto, a história moderna das enzimas aconteceu a partir de 1833, com os trabalhos de Anselme Payen e Jean-François Persoz, químicos franceses que conseguiram isolar uma substância de um extrato do malte que catalisava a transformação do amido em glicose, substância que foi denominada “diastase” (WISNIAK, 2005).

Propostas para o entendimento do processo de fermentação tiveram mais avanços ao final do século XIX. Pasteur propôs que a fermentação se realizava por catálise, indissociável, das células vivas de leveduras (NELSON, COX, 2014). Com

essa proposição, ele também trouxe de volta a teoria do vitalismo. Posteriormente, Moritz Traube (1826-1894) declarou que esses catalizadores estavam em locais específicos das células, realizando funções específicas, porém, afirmava que esse processo não dependia de a célula estar viva (WISNIAK, 2005). A teoria de Traube foi confirmada pelos irmãos Buchner, em 1897 (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021).

Os químicos alemães Eduard Buchner e Hans Buchner comprovaram que a fermentação alcoólica poderia ser realizada por meio de um extrato de leveduras, livres de células, ocorrendo da seguinte forma: a célula de levedura produz a enzima e a enzima provoca a fermentação (MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES, 2007). Isso possibilitou o estudo “in vitro” das reações químicas da fermentação, fazendo com que o processo de conhecimento das reações catalíticas ocorresse de forma mais rápida.

Os estudos do século XIX contribuíram para a elaboração do primeiro modelo de ligação “enzima-substrato” (MURRAY *et al.*, 2014). Em 1894, o “modelo chave-fechadura” foi proposto por Emil Fischer, sugerindo que as enzimas formavam complexos com seus substratos, similares a um conjunto de chave e fechadura, em que a chave (a enzima) se encaixaria perfeitamente na fechadura (o substrato) (NELSON, COX, 2014). Fischer determinou que a configuração estereométrica das moléculas é muito importante para a função vital das enzimas. Na mesma época, Victor Henri concluiu que como um passo essencial na catálise enzimática, uma enzima forma complexo através da combinação com seu substrato forma o complexo enzima-substrato (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021). A partir dessa conclusão, o bioquímico e físico alemão Leonor Michaelis e a cientista canadense Maud Leonora Menten do Canadá em 1913, expressaram matematicamente a teoria geral da ação enzimática (ARANTES, 2008). No entanto a natureza química das enzimas ainda não era conhecida. Isso só foi possível em 1926 pelo bioquímico James Batcheller Sumner, da Universidade de Cornell, Ithaca, NY, EUA, quando ele isolou e cristalizou a enzima urease, a partir do feijão (SIMONI *et al.*, 2002). Após a cristalização das enzimas purificadas, foi possível a análise de sua estrutura molecular por cristalização de raio X e demonstração que ela era constituída proteína, postulando que todas as enzimas seriam proteínas.

Juntando suas conclusões a outros resultados, Sumner postulou que todas as enzimas são proteínas (NELSON; COX, 2014). Porém, como Lehninger (1997) destaca:

Essa premissa permaneceu controversa por algum tempo. Somente em 1930, após John Northrop e Moses Kunitz terem cristalizado a pepsina, a tripsina e outras enzimas digestivas e concluído que elas também eram proteínas, é que a conclusão de Sumner foi completamente aceita. Durante esse período, J.B.S. Haldane escreveu um tratado intitulado “Enzimas”. Embora a natureza molecular das enzimas não estivesse completamente elucidada, Haldane fez a extraordinária sugestão de que as interações fracas que se estabelecem entre a enzima e o seu substrato poderiam ser usadas para distorcer a molécula do substrato e catalisar a reação. Esse conhecimento representa o cerne da compreensão atual da catálise enzimática. (LEHNINGER, 1997).

O desenvolvimento da ultracentrifugação, em 1920, permitiu a criação de centrífugas capazes de sedimentar macromoléculas. Estes estudos mostraram que proteínas em solução geralmente consistiam em moléculas homogêneas, com definido peso molecular M (no caso das enzimas M varia entre 10^4 e 10^7) (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021). A descrição da estrutura enzimática em termos químicos tornou-se, então, uma possibilidade real. Isso foi realizado em 1960, quando a sequência de aminoácidos da ribonuclease (enzima que catalisa a hidrólise do tecido ribonucleico) foi deduzida vitalistas (KIELING, 2002). Em 1965, a estrutura tridimensional da lisosima (enzima que cliva a parede celular de determinadas bactérias) foi deduzida por uma técnica de cristalografia; o primeiro mecanismo de ação pôde ser postulado em termos estruturais (NELSON; COX, 2014).

A evolução no estudo das enzimas, acompanhado por avanços tecnológicos, possibilitou o isolamento e a identificação das propriedades das enzimas. Desde então, vem sendo feita a caracterização e o estudo cinético de milhares de enzimas de diferentes fontes: animais, vegetais e de microrganismos. A intensificação das pesquisas sobre a catalise metabólica junto com a cristalização de várias enzimas contribuiu para que, ainda ao final do século XX, fosse possível classificar quimicamente as enzimas como proteínas que apresentam uma estrutura química especial (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021). Além disso, muitas pesquisas proporcionaram novos conhecimentos nesse campo, como é o caso da molécula denominada de haloenzima, por conter em sua estrutura a apoenzima que é um centro ativo, e um grupo não proteico denominado de coenzima (KIELING, 2002).

Os avanços no campo enzimático tornaram necessária a criação de uma Comissão Internacional de Enzima, constituída pelos componentes da União Internacional de Bioquímica. Antes, as enzimas eram classificadas e nomeadas arbitrariamente, causando problemas para os pesquisadores (MARZZOCO; TORRES, 2015). Porém, desde 1956, essa comissão tem se reunido para estabelecer

critérios para a classificação e nomenclatura desses biocatalisadores (MURRAY *et al.*, 2014).

O desenvolvimento histórico do conceito de enzimas é marcado pela contribuição de diferentes cientistas, em diferentes Instituições, de diferentes países. O Quadro 1 traz alguns exemplos sobre fatos contributivos para essa concepção.

Quadro 1: Alguns eventos da linha temporal do desenvolvimento do conceito de enzimas.

Cientista	Ano	Descoberta
Lavoisier	1790	Decomposição de óxidos vegetais pela fermentação vínica.
Gay-Lussac	1810	Documenta a decomposição do açúcar em álcool e CO ₂ por leveduras
Beaumont	1825	Efeito do suco gástrico sobre fibrina, gelatina, manteiga, etc.
Payen e Persoz	1833	Isolamento da diástase a partir de extrato de malte
Berzelius	1835	Observa que o extrato de malte (alfa amilase) hidrolisa amido com mais eficiência que o ácido sulfúrico
Mialhe	1845	Estudo do efeito da diástase salivar sobre múltiplos substratos
Bernard	1849	Efeito do suco pancreático sobre diferentes elementos
Pasteur	1860	Importância para o metabolismo celular
Kuhne	1878	Mudança do nome de "princípio ativo" para enzima
Buchner	1897	Obtenção de um extrato acelular de levedura capaz de realizar fermentação alcoólica
Sumner	1926	Demonstrou a natureza albuminoide das enzimas

Fonte: Adaptado de Fruton (1999).

2.3 A NATUREZA DAS ENZIMAS COMO BIOCATALISADORES PROTEICOS

As enzimas foram consideradas proteínas até a década de 1980. No entanto, esta consideração foi revista com a descoberta das ribozimas, enzimas catalíticas compostas de ácidos ribonucleicos (RNA) (NELSON; COX, 2014). Assim, atualmente, considera-se, que as enzimas constituem uma manifestação de vida, pois atuam em quase todas as reações químicas do metabolismo dos seres vivos. Elas são substâncias orgânicas, majoritariamente proteicas, sintetizadas no interior das células de plantas, animais e microrganismos, que agem no meio extracelular e têm a função de catalisar reações químicas, aumentando a velocidade de reação e diminuindo o consumo de energia consideravelmente (MARZZOCO; TORRES, 2015). No entanto, considerando altíssima representatividade, quimicamente, as enzimas são proteínas.

As enzimas possuem uma estrutura química especial, contendo um centro ativo, denominado apoenzima e algumas vezes um grupo não proteico, denominado coenzima. O nome de holoenzima é dado à molécula toda (apoenzima e coenzima). Dependendo de tipo de ligação, o grupo prostético pode ser separado da proteína por métodos brandos como, por exemplo, a diálise (NELSON; COX; 2014).

Algumas enzimas são holoproteínas, ou seja, constituídas unicamente de unidades específicas de aminoácidos, enquanto outras são heteroproteínas que possuem uma parte não proteica, o cofator, necessária à atividade catalítica (MURRAY *et al.*, 2014). Por isso, para melhor compreender as características, funções e aplicações desses biocatalisadores, e para evidenciar sua importância como um componente da Química do Ensino Médio, é preciso destacar a sua composição proteica.

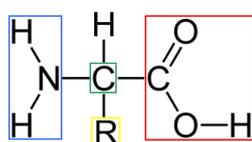
As proteínas são as macromoléculas biológicas mais abundantes nos seres vivos e estão presentes em todas as células (LEHNHNGER *et al.*, 2014). A massa corporal humana é formada por 12% a 15% de proteína, e a maior parte encontra-se no tecido muscular (PALERMO, 2014). Essas macrobiomoléculas respondem praticamente por todos os processos celulares e possuem uma ampla diversidade de funções e propriedades, como: estrutura, defesa, motilidade, transporte, sinalização e catálise (MARZZOCO; TORRES, 2015). Entre outras funções, elas: i) protegem o organismo contra agentes estranhos (anticorpos); ii) agem na coagulação do sangue (fibrinogênio e trombina); iii) realizam o transporte de substâncias (hemoglobina); iv) funcionam como elementos estruturais da pele e ossos (colágeno, queratina); v) atuam nas contrações musculares permitindo a locomoção (actina e miosina); vi) servem como fonte de energia na ausência de carboidratos e lipídios, podem armazenar substâncias para serem usadas pelo organismo (albumina do ovo), apresentam função hormonal ou regulatória (insulina); vii) são fonte de aminoácidos essenciais, necessários ao homem e aos animais, e viii) atuam como biocatalisadores, controlando diversas atividades metabólicas (enzimas). As diversas funções realizadas pelas proteínas se devem ao grande número de conformações que elas são capazes de assumir (ALBERTS *et al.*, 2011).

As proteínas são moléculas de alto peso molecular e constituem 50% do peso celular, sendo formadas por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e ainda podem ter elementos como fósforo, ferro, cobalto e enxofre (PALERMO, 2014). As proteínas de cada organismo, dá mais simples das bactérias aos seres humanos, são construídas a partir do mesmo conjunto onipresente de 20 aminoácidos (NELSON; COX, 2014). Dos 20 aminoácidos diferentes que são utilizados na fabricação de nossas proteínas, 12 são produzidos pelo nosso próprio organismo, por isso são chamados de *aminoácidos não-essenciais*; 8 aminoácidos são chamados de *essenciais*, porque nosso organismo não os fabrica e é preciso obtê-los através da

alimentação. O termo não-essencial significa que ele não é essencial em nossa dieta, pois o nosso corpo já o produz, mas eles são tão importantes quanto os demais na fabricação das proteínas (PALERMO, 2014).

Todos esses aminoácidos são α -aminoácidos, ou seja, têm um grupo carboxila ($-\text{COOH}$) e um grupo amina ($-\text{NH}_2$) ligados ao mesmo átomo de carbono (o carbono α) (Figura 1). Diferem uns dos outros em suas cadeias laterais ou grupos R, que variam em estrutura, tamanho e carga elétrica, e que influenciam a solubilidade dos aminoácidos em água. A exceção é a prolina, o único que contém um grupo imino ($-\text{NH}-$) no lugar do grupo amina, sendo a rigor um iminoácido.

Figura 1: Representação genérica de um α -aminoácido



Fonte: <https://querobolsa.com.br/enem/biologia/proteinas>

Para todos os aminoácidos comuns, exceto a glicina, o carbono α está ligado a quatro grupos diferentes: um grupo carboxila, um grupo amina, um grupo R e um átomo de hidrogênio (na glicina, o grupo R é outro átomo de hidrogênio). O átomo de carbono α é, portanto, um centro estereogênico. Desse modo, os aminoácidos com estereocentro no carbono α apresentam dois isômeros opticamente ativos, os isômeros L e D, que são imagens especulares um do outro (Figura 2). Porém, todos α -aminoácidos são L-aminoácidos e, conseqüentemente, todas as proteínas encontradas nos seres vivos são formadas por L-aminoácidos. Os D-aminoácidos aparecem somente em certos antibióticos e em peptídeos componentes das paredes de algumas bactérias (MARZZOCO; TORRES, 2015).

Figura 2: Representações dos enantiômeros do α -aminoácido alanina



Fonte: Marzzoco e Torres (2015)

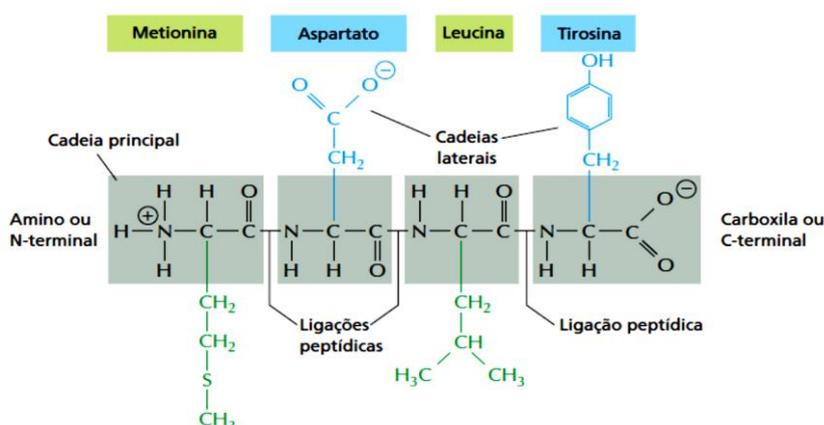
Cada um dos 20 tipos de aminoácidos apresenta uma cadeia lateral "R" diferente (ver Figura 1). É esse grupamento R distinto em cada aminoácido que os diferencia quanto a forma, tamanho, carga, capacidade de fazer ligação de hidrogênio ou não, polaridade ou apolaridade e reatividade. De acordo com as estruturas de seus

grupamentos R, os aminoácidos são classificados em polares, apolares, ácidos (cadeias laterais carregadas negativamente) e básicos (cadeias laterais carregadas positivamente). Nas proteínas encontradas em soluções aquosas, as cadeias laterais apolares dos aminoácidos tendem a agrupar-se no interior da proteína. É o resultado da hidrofobicidade dos grupos R apolares (BRUICE, 2006).

Os aminoácidos que apresentam cadeia lateral carregada negativamente ou positivamente são os mais hidrofílicos. Aqueles que apresentam cadeias polares não carregadas contêm grupos funcionais formadores de ligações de hidrogênio com a água. São, portanto, mais hidrofílicos que os aminoácidos apolares. Além disso, a metionina, o triptofano e a cisteína apresentam caráter ligeiramente polar por apresentarem átomos de enxofre ou nitrogênio em suas estruturas (NELSON; COX, 2014).

Os aminoácidos se ligam uns aos outros através de uma reação de síntese por desidratação, também chamada reação de polimerização ou condensação, pois para cada ligação estabelecida ocorre a liberação de uma molécula de água. A ligação entre dois aminoácidos é chamada de ligação peptídica e ocorre entre o nitrogênio do grupo amino e o carbono do grupo carboxila, formando uma ligação amida, também chamada de ligação peptídica (PALERMO, 2014). Desse modo, qualquer que seja o número de aminoácidos, os peptídeos apresentam um grupamento amino livre em uma das extremidades - amino terminal - e um grupo carboxila livre na outra - carboxila terminal - além dos grupos R dos aminoácidos, como é indicado na Figura 3.

Figura 3: Representação das ligações peptídicas entre quatro aminoácidos, destacando os seus grupos laterais, e o grupo amino livre no início da cadeia e o grupo carboxila livre no final da cadeia

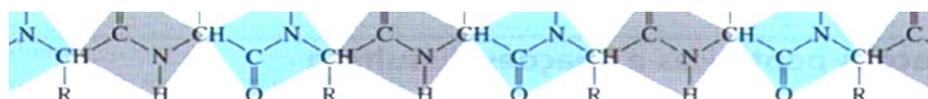


Fonte: Alberts et al. (2011).

A estrutura das proteínas pode ser descrita em quatro níveis (MARZZOCO; TORRES, 2015): a *estrutura primária* é a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica, determinada geneticamente e específica para cada proteína; a *estrutura secundária*, que descreve as estruturas tridimensionais regulares, formadas por segmentos da cadeia polipeptídica; a *estrutura terciária*, ou seja, o arranjo tridimensional de todos os átomos dessa proteína

A ligação peptídica exerce uma função fundamental na estrutura proteica. Uma ligação peptídica tem cerca de 40% de caráter de ligação dupla em virtude da deslocalização de elétrons (BRUICE, 2006). O impedimento estérico faz a configuração *trans* ser mais estável do que a configuração *cis*, de modo que os carbonos α dos aminoácidos adjacentes são *trans* uns aos outros. E a rotação livre em torno da ligação peptídica não é possível em razão do seu caráter parcial de ligação dupla. Os átomos de carbono e nitrogênio da ligação peptídica e os dois átomos aos quais cada um está ligado são mantidos rigidamente em um plano e isso afeta o modo como uma cadeia de aminoácidos pode se dobrar, tendo importantes implicações para as formas tridimensionais de peptídeos e proteínas. A Figura 4 ilustra essa discussão.

Figura 4: Representação da configuração *trans* de um peptídeo (os grupos R ligados aos carbonos α estão em lados alternados).



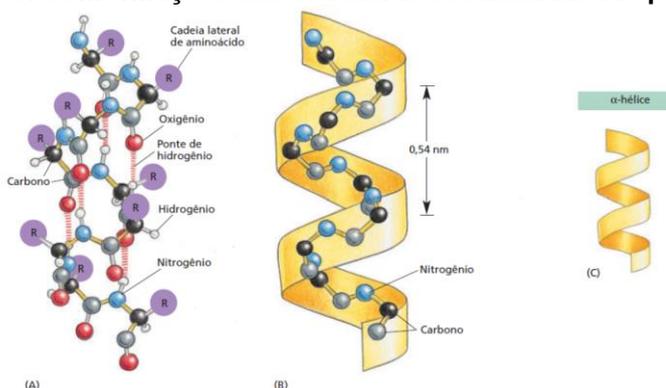
Fonte: Bruice (2006).

“Um outro tipo de ligação covalente pode acontecer entre aminoácidos não adjacentes – é a ligação dissulfeto. Elas contribuem para a forma global da proteína e acontecem entre dois resíduos de cisteína” (BRUICE, 2006, p.389).

A presença das ligações peptídicas também implica na *estrutura secundária* das proteínas, ou seja, nas estruturas tridimensionais regulares formadas por segmentos da cadeia polipeptídica (MARZZOCO; TORRES, 2015). Nesse caso, dois tipos de conformações, ou sejam duas formas de organização, são particularmente estáveis: i) conformação α -hélice - o “enrolamento da cadeia ao redor de um eixo”; e conformação folha β -pregueada - a “interação lateral de segmentos de uma cadeia polipeptídica ou de cadeias diferentes”. A extensão do segmento da cadeia polipeptídica que se organiza nessas duas configurações pode variar de alguns a dezenas de aminoácidos, conforme a proteína.

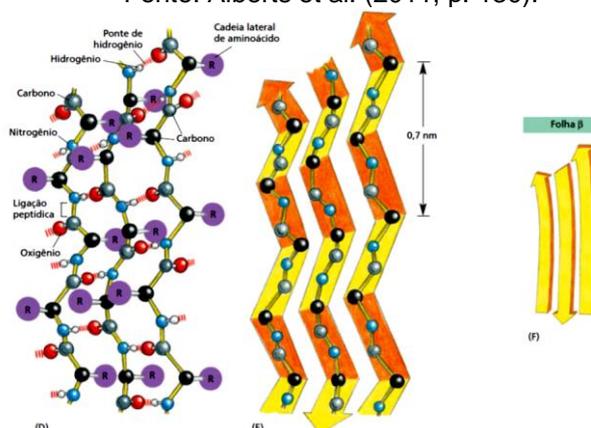
Na α -hélice, o polipeptídeo enrola-se em torno do eixo principal da molécula da proteína. A hélice é estabilizada por ligações de hidrogênio: cada hidrogênio ligado a um nitrogênio de amida faz ligação de hidrogênio com um oxigênio carboxílico de um aminoácido quatro resíduos adiante. Os grupos laterais nos carbonos α dos aminoácidos projetam-se para fora da hélice, minimizando o impedimento estérico. A distância de repetição da hélice é de 0,54 nm (BRUICE, 2006). Por sua vez, na folha β -pregueada, o esqueleto do polipeptídeo é estendido em uma estrutura em ziguezague, assemelhando-se a uma série de pregas. Ela é quase totalmente estendida - a distância média de repetição de dois resíduos é 0,7 nm. A ligação de hidrogênio ocorre entre as cadeias peptídicas vizinhas. E as cadeias laterais dos aminoácidos se projetam alternadamente acima e abaixo do plano da folha (BRUICE, 2006). A Figura 5 ilustra essa discussão.

Figura 5: Conformações das estruturas secundárias das proteínas



(A) - Representação da ligação de Hidrogênio na α -hélice, cadeia lateral R para fora; (B) e (C) - representação esquemática da estrutura α -hélice.

Fonte: Alberts et al. (2011, p. 130).



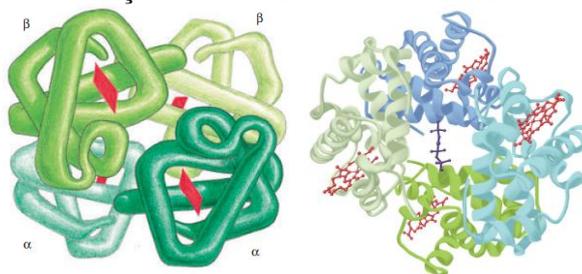
(D) - Cadeias polipeptídicas individuais (fitas β) são mantidas unidas em uma mesma folha por pontes de hidrogênio entre as ligações peptídicas de cadeias diferentes; (E) e (F) - representação esquemática da estrutura *folha β -pregueada*.

Fonte: Alberts et al. (2011).

A *estrutura terciária* de uma proteína é o arranjo tridimensional de todos os átomos dessa proteína (BRUICE, 2006). As proteínas se dobram espontaneamente a fim de maximizar sua estabilidade. As interações estabilizantes incluem ligações dissulfeto, ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas (atrações entre cargas opostas) e interações hidrofóbicas (de Van der Waals). Estas ligações são consideradas fracas (4 a 30 kJ·mol⁻¹), quando comparadas a ligações covalentes (200 kJ·mol⁻¹), mas por existirem em grande quantidade, elas se tornam interações importantes na determinação de como as proteínas se dobram (NELSON; COX, 2014). Elas podem ocorrer entre grupos peptídicos (átomos no esqueleto de uma proteína), entre grupos de cadeia lateral e entre peptídeos e grupos de cadeia lateral. Uma vez que os grupos de cadeia lateral ajudam a determinar como as proteínas se dobram, a estrutura terciária de uma proteína é determinada pela sua estrutura primária. A maioria das proteínas existe em ambientes aquosos. Portanto, elas tendem a se dobrar de um modo que exponha ao meio aquoso o número máximo de grupos polares e esconda os grupos apolares no interior da proteína, longe da água.

A *estrutura quaternária* descreve a associação de duas ou mais cadeias polipeptídicas (subunidades), para compor uma proteína funcional (MARZZOCO; TORRES, 2015). A estrutura quaternária é mantida geralmente por ligações não covalentes entre as subunidades, dos mesmos tipos que mantêm a estrutura terciária. As subunidades que constituem uma proteína podem ser iguais ou diferentes. Por exemplo, a molécula de *hemoglobina* (Figura 6) é formada por quatro cadeias polipeptídicas, iguais duas a duas, chamadas α e β , associadas sobretudo por interações hidrofóbicas, com contribuição menor de ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas. Ela contém duas cópias da subunidade α -globina e duas da subunidade β -globina. Cada uma das quatro cadeias polipeptídicas contém um grupo heme (retângulo vermelho), o sítio de ligação do oxigênio.

Figura 6: Conformações das estruturas secundárias das proteínas



Fonte: A) Alberts et al. (2011); B) Murray et al. (2014).

As proteínas podem ser classificadas em proteínas *fibrosas* (com cadeias polipeptídicas arranjadas em longos filamentos ou folhas) e *globulares* (com cadeias polipeptídicas dobradas em forma esférica ou globular) (NELSON; COX, 2014). A queratina e o colágeno são exemplos de proteínas fibrosas. Proteínas globulares incluem proteínas transportadoras, proteínas motoras, proteínas reguladoras, imunoglobulinas e outras proteínas, com muitas funções, como é o caso das enzimas.

As proteínas fibrosas compartilham propriedades que dão força e/ou flexibilidade às estruturas nas quais ocorrem. São insolúveis em água, propriedade conferida pela alta concentração de resíduos de aminoácidos hidrofóbicos tanto no interior quanto na superfície da proteína. Já em uma proteína globular, segmentos diferentes das cadeias polipeptídicas se dobram uns sobre os outros, gerando uma forma mais compacta do que a observada para as proteínas fibrosas. O enovelamento também garante a diversidade estrutural necessária às proteínas para realizar um grande leque de funções biológicas. As proteínas globulares são solúveis em água pois seus grupos polares hidrófilos estão orientados para a parte externa da estrutura (BRUICE, 2006).

As proteínas também podem ser classificadas em proteínas simples (consistem somente de cadeias polipeptídicas) e proteínas conjugadas (apresentam outros componentes, orgânicos ou inorgânicos, além das cadeias polipeptídicas) (AMABIS; MARTHO, 2006). A porção não peptídica das proteínas conjugadas é chamada de grupo prostético. Entre outras, são proteínas conjugadas: as lipoproteínas (lipídeo mais proteína), as glicoproteínas (açúcar mais proteína), as fosfoproteínas, as metalproteínas.

A destruição da estrutura terciária de uma proteína é denominada desnaturação (BRUICE, 2004). Qualquer coisa que quebre as ligações responsáveis pela manutenção da sua forma tridimensional, uma forma altamente organizada, fará a proteína se desdobrar, ou seja, desnaturar-se. Com isso, ela perde sua função e torna-se inativa, conforme pode acontecer com as enzimas. A conformação totalmente aleatória de uma proteína desnaturada é denominada espiral randômica (KIELING, 2002).

As ligações responsáveis pelas estruturas terciárias são fracas, por isso, as proteínas podem ser facilmente desnaturadas. Há alguns modos de se promover a desnaturação, como: i) por mudanças de temperatura ou pela agitação, uma vez que levam ao aumento do movimento molecular, rompendo as forças de atração (um

exemplo nesse sentido é a espuma formada quando a clara do ovo é batida); ii) por alterações no pH, pois modifica as cargas em muitas das cadeias laterais, interrompendo as interações eletrostáticas e ligações de hidrogênio (esse é o caso de se colocar o limão no peixe cru, incidindo-se que as proteínas do peixe tenham sua forma modificada, conforme é observada pela nova coloração); iii) por solventes orgânicos, que desnaturam proteínas ao interromper as interações hidrofóbicas; iv) por variações da salinidade; v) pela interação com íons de metais pesados; vi) pela ação de alguns tipos de radiações eletromagnéticas; vii) pelo contato com detergentes; e viii) pela ação de agentes redutores (NELSON; COX, 2014).

Grande parte das proteínas sintetizadas na célula são enzimas. As enzimas são produzidas no interior das células, todas, porém algumas são excretadas através da parede celular e funcionam no ambiente no qual a célula se encontra (AMABIS; MARTHO, 2006). Por isso, a depender do local de ação, classifica-se as enzimas em dois tipos: i) enzimas intracelulares, citoplasmáticas ou endoenzimas; e ii) enzimas extracelulares, ou exoenzimas.

As enzimas intracelulares têm síntese metabolicamente contínua e configuram-se como a maior parte das enzimas. Elas só podem ser obtidas e avaliadas por rompimento da célula (KIELING, 2002). Por sua vez, as enzimas extracelulares são sintetizadas nos ribossomos, ligados à membrana celular e, sob forma linear, migram para o meio extracelular onde assumem sua conformação própria e característica. Apresentam como função principal as alterações de determinados nutrientes - a hidrólise de compostos de alto peso molecular - possibilitando suas entradas na célula.

As enzimas extracelulares têm se mostrado viáveis à utilização industrial em detrimento das intracelulares. Excretadas para fora da célula, elas podem ser encontradas no meio de cultivo ou de propagação (celular), onde são mais facilmente isoladas e avaliadas (AMABIS; MARTHO, 2006). No entanto, elas devem ter boa estabilidade às variações das propriedades físicas e químicas do meio no qual atuam, circundante à célula, uma vez que se encontram fora da membrana celular protetora. Adicionalmente, considerando o grande volume no qual a enzima atua, é necessário que a célula as produza em grandes quantidades (PARK, 2007).

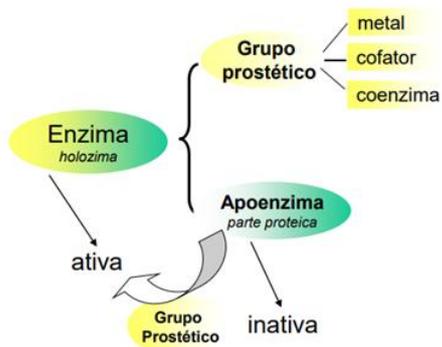
2.4 A ATIVIDADE ENZIMÁTICA

As enzimas realizam seu processo de catálise pelo mesmo mecanismo utilizados pelos catalizadores químicos, porém com uma ordem de grandeza muito maior. A catálise aumenta a velocidade da reação e faz com que ela chegue ao seu equilíbrio mais rapidamente, pois a enzima age diminuindo a altura da barreira cinética, estabilizando o estado de transição comparado com a reação não catalisada.

Os estudos da bioquímica, desde a era de Pasteur, têm evidenciado que as enzimas diferem dos catalisadores químicos comuns, embora estejam sujeitas às mesmas leis da natureza que governam o comportamento de outras substâncias. Tais diferenças envolvem vários aspectos importantes (VOET; VOET; PRATT, 2014), pois as enzimas: i) atuam em concentrações muito baixas; ii) aceleraram as velocidades das reações em 10^6 a 10^{12} vezes mais do que as reações correspondentes não-catalisadas; iii) demonstram alto grau de especificidade em relação a seus substratos (reagentes) e aos seus produtos; iv) possuem todas as características das proteínas; v) podem ter sua concentração e atividade reguladas; e vi) não alteraram o equilíbrio químico das reações.

As cadeias polipeptídicas das enzimas possuem constituição e configuração contributivas para que seu processo catalítico. Assim como algumas proteínas, as enzimas contêm em sua molécula uma porção não proteica, chamada de apoenzima, que é essencial para atividade biológica, e um componente químico adicional necessário para a função desempenhada: um cofator: íons inorgânicos; ou uma coenzima: moléculas orgânicas complexas (NELSON; COX, 2014). A enzima completa é denominada “holoenzima”(Figura 7). A distinção entre cofator e coenzima depende da força de ligação com a apoproteína. Por exemplo: o NAD⁺ pode ser cofator de uma enzima (ligação fraca) e ser coenzima de outra (ligação forte). O mesmo ocorre com os metais (MARZZOCO; TORRES, 2015).

Figura 7: Constituintes de uma enzima (holozima).

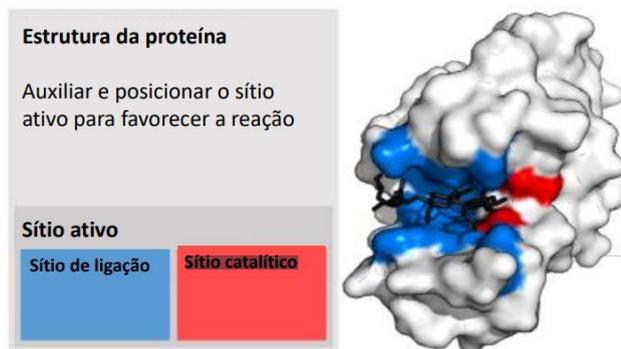


Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4098835/mod_resource/content/1/Enzimas.pdf

As coenzimas participam do ciclo catalítico das enzimas recebendo ou fornecendo grupos químicos para a reação. Algumas enzimas formam intermediários covalentes com seus substratos. Enzimas com o mesmo tipo de mecanismo catalítico, ou seja, que possuem o mesmo grupo de aminoácidos no sítio ativo, formam intermediários covalentes similares (KIELING, 2002).

As enzimas, em comparação com a maioria dos catalisadores químicos, apresentam uma especificidade em relação ao substrato/produto, ou seja, cada reação química tem sua enzima catalisadora. Ao longo do processo de catálise enzimática, tem-se um reagente, o substrato (S), e o resultado, o produto (P), no qual há a formação de um complexo transiente entre enzima/substrato (ES) e enzima/produto (EP): $S + E \leftrightarrow ES \leftrightarrow E + P$. Para o papel catalítico enzimático toda a estrutura da biomolécula é essencial. Porém, a ligação com o substrato para a formação do produto se dá apenas numa região bem definida da enzima, chamada de centro ativo ou apoenzima (BRUICE, 2006). O centro ou sítio ativo é formado por aminoácidos da cadeia polipeptídica que se aproximaram através dos dobramentos inerentes da estrutura terciária. A estrutura proteica exerce o papel de auxiliar e posicionar o sítio ativo para favorecer a reação (Figura 8). No sítio ativo há o sítio de ligação e o sítio catalítico.

Figura 8: Sítio ativo da catálise enzimática.

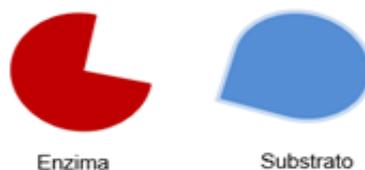


Fonte: https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/5044797/mod_resource/content/3/UFSC_BQA_Enzimas.pdf

As reações catalisadas por enzimas ocorrem de forma variada. No entanto, todas essas reações requerem alguns grupamentos reativos para que haja interação enzima-substrato. Os grupamentos laterais das cadeias enzimáticas estão envolvidos nas reações enzimáticas, uma vez que os grupamentos α -carboxila e os α -amino dos resíduos de aminoácidos não estão disponíveis, pois estão formando ligações peptídicas. Os grupos funcionais que podem exercer papel na catálise incluem: o grupo imidazol, da histidina; a hidroxila, da serina; a carboxila, do aspartato e do glutamato; a sulfidril, da cisteína; o amino, da lisina; e o fenol, da tirosina (NELSON; COX, 2014).

Algumas teorias e modelos foram propostos para explicar a interação estabelecida entre a enzima e o substrato. Em 1984, Emil Fischer propôs a hipótese da chave e fechadura, onde o substrato seria a chave e a enzima a fechadura e a especificidade enzimática se daria pela complementariedade das duas formas (MIRANDA; LOFFREDO, 2005), conforme verificado na Figura 9.

Figura 9: Representação esquemática do modelo proposto por Fischer.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Outro modelo foi formulado anos depois, em 1958, por Koshland: a teoria do encaixe induzido (TONOLLI; FRANCO; SILVA, 2021). Nesse modelo, o substrato é

responsável por induzir uma mudança na conformação do sítio ativo, fazendo com que o substrato se encaixe perfeitamente na enzima e essa união desencadeia uma troca conformacional dando lugar à formação do produto. A Figura 10 ilustra essa proposta.

Figura 10: Representação do modelo do encaixe induzido.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/teoria-encaixe-induzido.htm>

2.4.1 Principais Tipos de Catálise Enzimática

Os tipos de mecanismos catalíticos que as enzimas empregam estão classificados, basicamente, em: i) catálise ácido-base; ii) catálise covalente; iii) catálise por íons metálicos; e iv) efeitos de proximidade e orientação.

2.4.1.1 Catálise Ácido-base

A catálise ácido-base é um tipo de mecanismo de catálise que ocorre por transferência de prótons, ou seja, o aumento da velocidade da reação acontece através da doação de um próton a um reagente (BRUICE, 2006). A transferência parcial de prótons entre o substrato e enzima reduz a ΔG^\ddagger .

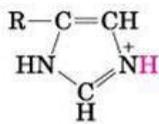
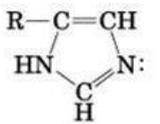
Há dois tipos: i.1) a catálise ácida específica, na qual o próton é inteiramente transferido ao reagente, antes do início da etapa lenta da reação e i.2) a catálise ácida geral, onde o processo de transferência do próton ao reagente ocorre durante a etapa lenta da reação, ou seja, a transferência do próton ocorre ao mesmo tempo que o nucleófilo entra (MURRAY *et al.*, 2014). Na catálise ácida específica, o próton é completamente transferido ao reagente antes do início da etapa lenta da reação. Na catálise ácida geral, o próton é transferido ao reagente durante a etapa lenta da reação, ou seja, o próton é transferido ao mesmo tempo em que o nucleófilo entra.

As enzimas só conseguem realizar a catálise ácida geral, porque o pH fisiológico não é ácido o suficiente para que ocorra a catálise específica. Na catálise ácida específica o catalisador deve ser um ácido forte o suficiente para protonar o reagente completamente antes do início da etapa lenta (KIELING, 2002).

Uma reação enzimática também pode ser favorecida por uma catálise básica geral se sua velocidade for aumentada pela remoção parcial de um próton por uma base (VOET; VOET; PRATT, 2014). Na catalise básica também existem dois tipos de catálise: a catálise básica específica onde a remoção do próton no reagente ocorre completamente antes do início da etapa lenta; e a catálise básica geral, onde ele é removido do reagente durante a etapa lenta da reação.

A catálise ácido-básica geral que explica a eficiência catalítica de muitas enzimas serve de parâmetro para a formulação de modelos catalíticos intramoleculares. A característica comum nesses sistemas é a presença de fortes ligações de hidrogênio, tanto no produto como no estado de transição (MARZZOCO; TORRES, 2015). Nesse tipo de catálise, há a participação de aminoácidos ionizados: Lys, His, Arg, Asp, Glu, Cys, Ser, Thr e Tyr (Figura 11).

Figura 11: Aminoácidos envolvidos na catálise geral ácido-base.

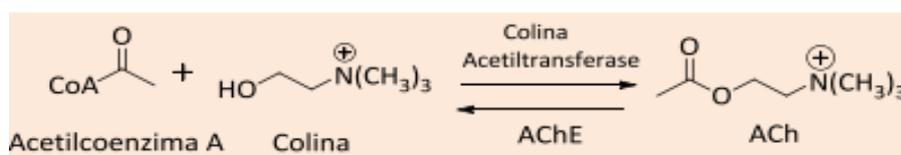
Resíduo de aminoácido	Forma geral ácida (doador de próton)	Forma geral básica (aceptor de próton)
Glu, Asp	$R-COOH$	$R-COO^-$
Lys, Arg	$R-\overset{H}{\underset{H}{N^+}}$	$R-\ddot{N}H_2$
Cys	$R-SH$	$R-S^-$
His		
Ser	$R-OH$	$R-O^-$
Tyr		

Fonte: <https://lab-liga-academica-de-bioquimica8.webnode.page//catalise-e-cinetica-enzimatica-parte-ii/>

Um exemplo de catálise enzimática ácido-base ocorre nas sinapses colinérgicas, que estão amplamente distribuídas no sistema nervoso central (SNC) e periférico (SNP), sendo importante para a manutenção de inúmeras funções fisiológicas humanas. Nessas sinapses, a acetilcolinesterase (AChE) é a enzima responsável por hidrolisar o neurotransmissor acetilcolina (ACh) transmitindo a mensagem de um neurônio a outro (VOET; VOET; PRATT, 2014).

As colinesterases estão presentes consistem em uma classe de enzimas que, nas sinapses colinérgicas, catalisam a hidrólise da ACh em ácido acético e colina na fenda sináptica (ARAÚJO; SANTOS; GONSALVES, 2016). Com isso, permitem que o neurônio colinérgico retorne ao seu estado de repouso após ser ativado. No neurônio pré-sináptico, a ACh é sintetizada a partir da colina e acetilcoenzima A (Acetil-CoA), sob catálise da colina acetiltransferase. Após sua formação, ela é armazenada em vesículas, onde fica depositada até que haja um estímulo que resulte em sua liberação na fenda sináptica. A partir desse ponto, a ACh se liga no receptor pós-sináptico propagando a informação. Após transmitir a mensagem, a molécula de ACh se desliga do receptor pós-sináptico e volta à fenda sináptica, onde ela sofre hidrólise catalisada pela AChE, dando origem a ácido acético e a colina (GALLACCI; CORDELLINI, 2016). A Figura 12 ilustra esse processo.

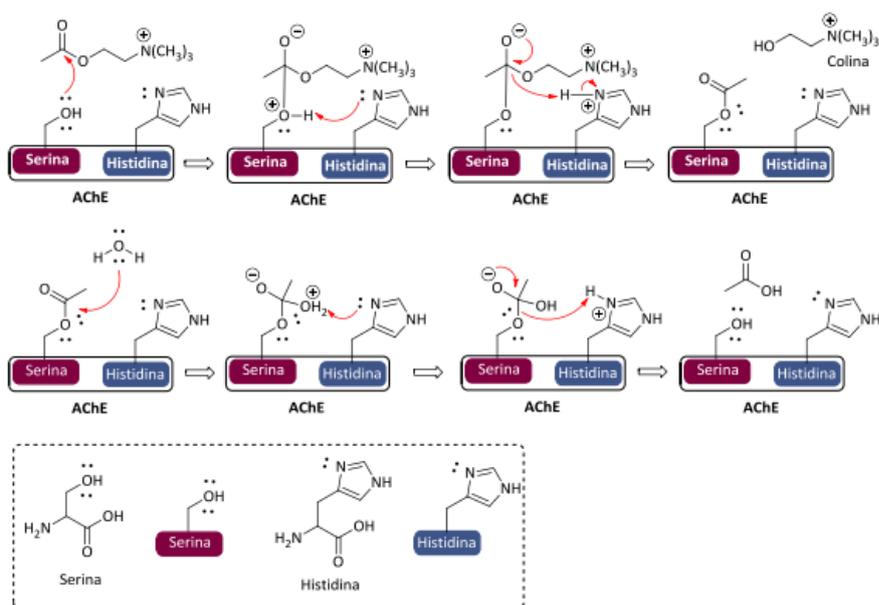
Figura 12: Esquema da reação de catálise enzimática ácido-base da síntese e hidrólise da acetilcolinesterase (AChE), a enzima responsável por hidrolisar o neurotransmissor acetilcolina (ACh) nas sinapses colinérgicas.



Fonte: Araújo, Santos e Gonsalves (2016).

A hidrólise da ACh no sítio ativo da AChE depende dos resíduos de histidina, que funciona como um catalisador ácido-base, e de serina, que age como um nucleófilo. No entanto, a serina por si só é incapaz de hidrolisar um éster, levando a histidina a exercer um papel importante na catálise. Após a chegada da ACh ao sítio ativo da AChE, a carbonila do neurotransmissor é atacada pelo par de elétrons da hidroxila do resíduo de serina. A histidina atua como uma base retirando um próton do íon hidroxônio formado. A histidina protonada atua posteriormente como um ácido, doando um próton para a porção colina da ACh, que é então liberada. A saída da porção colina deixa a AChE acetilada e, para que a enzima volte a ter atividade, ela sofrerá hidrólise, com a água atuando como nucleófilos (ARAÚJO; SANTOS; GONSALVES, 2016). Então, no processo, o ácido acético é formado e o resíduo de serina é liberado, fazendo com que a enzima esteja pronta para atuar novamente. Esse processo é ilustrado pela Figura 13.

Figura 13 - Esquema da hidrólise da ACh no sítio ativo da AChE.



Fonte: Araújo, Santos e Gonsalves (2016).

2.4.1.2 Catálise Covalente

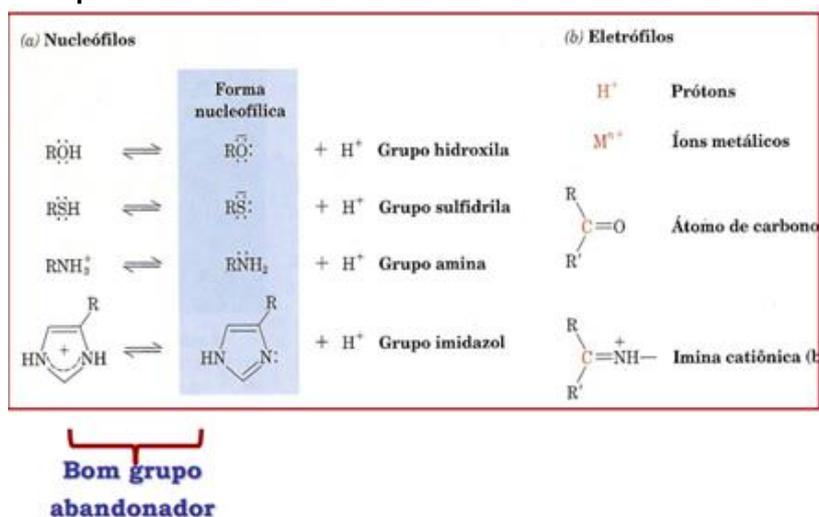
Outro tipo de mecanismo de catálise enzimática é a catálise enzimática covalente, ou nucleofílica. Essa catálise pode ser descrita como uma modificação química transiente na enzima que ativa o substrato ou transfere um grupo reativo do substrato para outro aceptor (GOULART, 2018). A catálise covalente aumenta a velocidade das reações pelo processo da composição transitória de uma ligação covalente entre o catalisador e o substrato, que é formada entre a reação do grupo nucleofílico do catalisador com um grupo eletrofílico do substrato. Arantes (2008) destaca que as seguintes condições devem ser atingidas⁵ para a catálise covalente ser efetiva: i) o catalisador deve ter uma maior reatividade frente ao substrato que o aceptor final; ii) o intermediário formado entre o catalisador e o substrato deve ser mais reativo que o substrato; iii) o intermediário deve ser termodinamicamente instável (maior energia livre) em relação ao produto, de maneira que o intermediário não acumule.

A catálise covalente possui estágios nucleofílicos e eletrofílicos, e pode ser conceitualmente decomposta em três estágios: i) a reação nucleofílica entre o catalisador e o substrato para formar uma ligação covalente; ii) a retirada de elétrons do centro de reação pelo novo catalisador eletrofílico; e iii) a eliminação do catalisador, uma reação que é essencialmente o inverso do estágio 1 (BARREIRO; FRAGA, 2014). A formação transitória de uma ligação covalente entre catalisador-substrato depende

da catálise ácido geral e a envolve um grupo nucleofílico ativado, portanto, a nucleofilicidade depende da basicidade, consequentemente o catalisador deve ser um bom grupo abandonador.

As ligações covalentes são formadas mais comumente como resultado do ataque de ataque nucleofílico da enzima a uma região eletrofílica do substrato que é ligado no sítio ativo. A Figura 14 traz exemplos de nucleófilos e eletrófilos envolvidos nas catálises enzimáticas.

Figura 14: Exemplos de nucleófilos e eletrófilos envolvidos nas catálises enzimáticas.



Fonte:

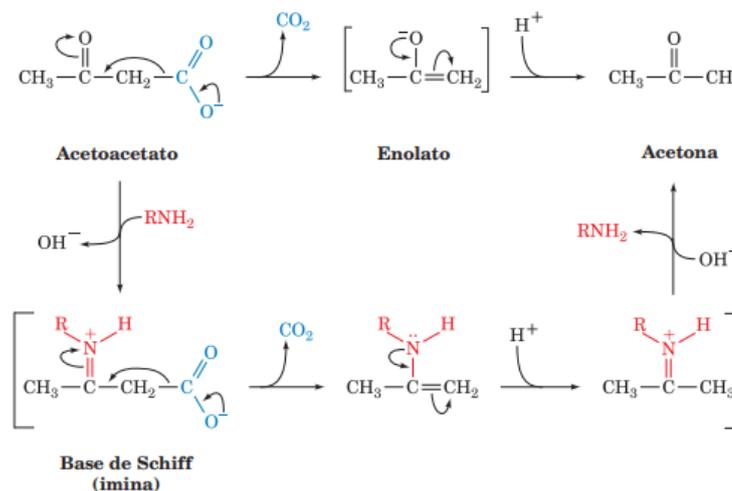
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3274603/mod_resource/content/1/Aula11BioqI_MecCatEnzim%C3%A1tica.pdf

Os grupos nucleofílicos que estão presentes nas cadeias laterais dos resíduos de aminoácidos são RCOO⁻, RNH, R OH e os átomos de nitrogênio do anel imidazol de resíduos de histidina; as porções eletrofílicas de substratos que formam as ligações covalentes podem ser grupos acil, fosforil ou glicosil (VOET; VOET; PRATT, 2014). Algumas enzimas utilizam cofatores como o piridoxal fosfato ou a tiamina pirofosfato para formar intermediários covalentes. Esses intermediários reduzem a energia de estados de transição, de modo semelhante aos resíduos de cadeias laterais de enzimas.

Diferentes enzimas formam intermediários covalentes, como as proteases, as estearases, as descarboxilases e as fosfatases (NELSON; COX, 2014). Um exemplo nessa direção é mostrado na Figura 15, que ilustra o mecanismo da descarboxilação do acetoacetato. O mecanismo da reação não catalisada está na parte superior, enquanto o mecanismo da reação catalisada por amins primárias está na parte

inferior. No primeiro estágio desta reação, a amina faz um ataque nucleofílico ao grupo carbonila do acetoacetato formando uma base de Schiff (ligação imina).

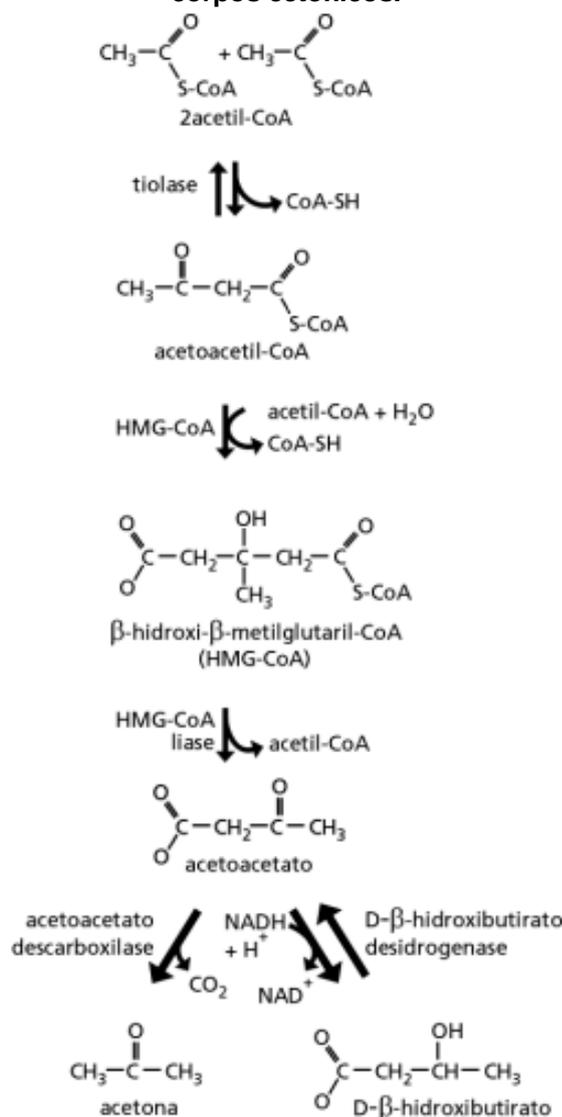
Figura 15: Descarboxilação do acetoacetato, não catalisada e catalisada por amins primárias.



Fonte: Voet, Voet e Pratt (2014).

A descarboxilação enzimática é uma importante reação de catálise para os organismos dos humanos e resulta na formação de corpos cetônicos, ou sejam de compostos carbonílicos solúveis em água, que consistem basicamente em acetoacetato, β -hidroxibutirato e acetona (FERREIRA, 2022). A formação dos corpos cetônicos ocorre dentro da mitocôndria e ocorre via processo ilustrado na figura 15. Inicialmente, via β -cetotiolase, duas moléculas de acetil-CoA se condensam e formam acetoacil-CoA. O acetoacil-CoA se condensa com uma nova molécula de acetil-CoA, formando β -hidroxi- β -metilglutaril-CoA (HMG-CoA) através da enzima HMG-CoA sintase. Em seguida, este composto sofre clivagem pela enzima HMG-CoA liase formando acetil-CoA e acetoacetato. O acetoacetato sofre redução gerando β -hidroxibutirato através da enzima β -hidroxibutirato desidrogenase. Parte do acetoacetato sofre descarboxilação, gerando acetona (LOPES SILVA et al., 2021). A Figura 16 resume essa descrição.

Figura 16: Exemplo de catálise enzimática covalente: a descarboxilação para formação de corpos cetônicos.



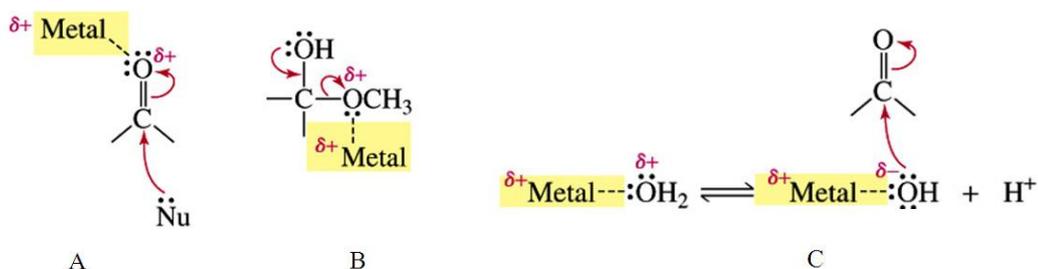
Fonte: <https://canal.cecierj.edu.br/092020/db7b9a51e942869128f2e02ca0ac794c.pdf>

2.4.1.3 Catálise por Íons Metálicos;

A catálise enzimática por íons metálicos é um terceiro tipo de mecanismo de biocatálise. Nesse caso, o catalisador exerce sua ação por coordenação, isto é, por complexação, ou seja, a catálise ocorre devido à habilidade do íon para se coordenar ao substrato estabilizando, assim, o estado de transição (KIELING, 2002). Essa estabilização é variável, dependendo de como o metal atua nas reações. Os íons (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} e Co^{2+}) estão ligados a aminoácidos do centro ativo e participam da catálise orientando o substrato ou estabilizando o complexo ES eletricamente (NELSON; COX, 2014). Um íon metálico age como um ácido de Lewis e, conforme apresentado na Figura 17, pode aumentar a velocidade da reação por três modos: i) ligando-se ao substrato, tornando o centro de reação mais suscetível a

receber elétrons (Figura 17a); ii) transformando um grupo de saída em uma base mais fraca e, com isso, em um grupo de saída melhor (Figura 17b); e iii) aumentando a velocidade de uma reação de hidrólise, pelo aumento da nucleofilicidade da água (Figura 17c).

Figura 17: Maneiras de um íon metálico aumentar a velocidade de uma reação.



Fonte: BRUICE (2006, p.421).

O íon metálico realiza o mesmo processo que um próton para neutralizar uma carga negativa, porém em relação aos prótons. Por isso, os íons metálicos são catalisadores mais efetivos por poderem estar presentes em ambientes com altas concentrações de pH neutro. A carga de um íon metálico também faz que as moléculas de água ligadas serem mais ácidas do que H_2O livre e, portanto, uma fonte de íons H_2O nucleofílicos, mesmo em pH inferior ao neutro (VOET; VOET; PRATT, 2014).

As fosfatases se constituem em uma ampla classe de enzimas que realizam catálise por íons metálicos, promovendo a hidrólise de ésteres de fosfato (MURRAY *et al.*, 2014). São exemplos desses tipos de catalisadores biológicos: as glicerol fosfodiesterases, encontradas em *Enterobacter aerogenes* (uma bactéria Gram-negativa anaeróbia facultativa, não formadora de esporos); e a agente degradante de organofosfato, encontrada no *Rhizobium radiobacter* (*Agrobacterium radiobacter*), um microorganismo Gram-negativo aeróbio fitopatogênico presente no solo (CASTILHO, 2020). As glicerol fosfodiesterases possuem íons metálicos nos sítios ativos e têm papel importante na degradação de organofosfatos tóxicos, incluindo diversos pesticidas comerciais e até mesmo agentes de guerra química (MURRAY *et al.*, 2014).

2.4.1.4 Catálise Enzimática por Efeitos de Proximidade e Orientação

Um quarto tipo de mecanismo é o de catálise enzimática baseada nos efeitos de proximidade e orientação. Embora as enzimas utilizem mecanismos catalíticos que

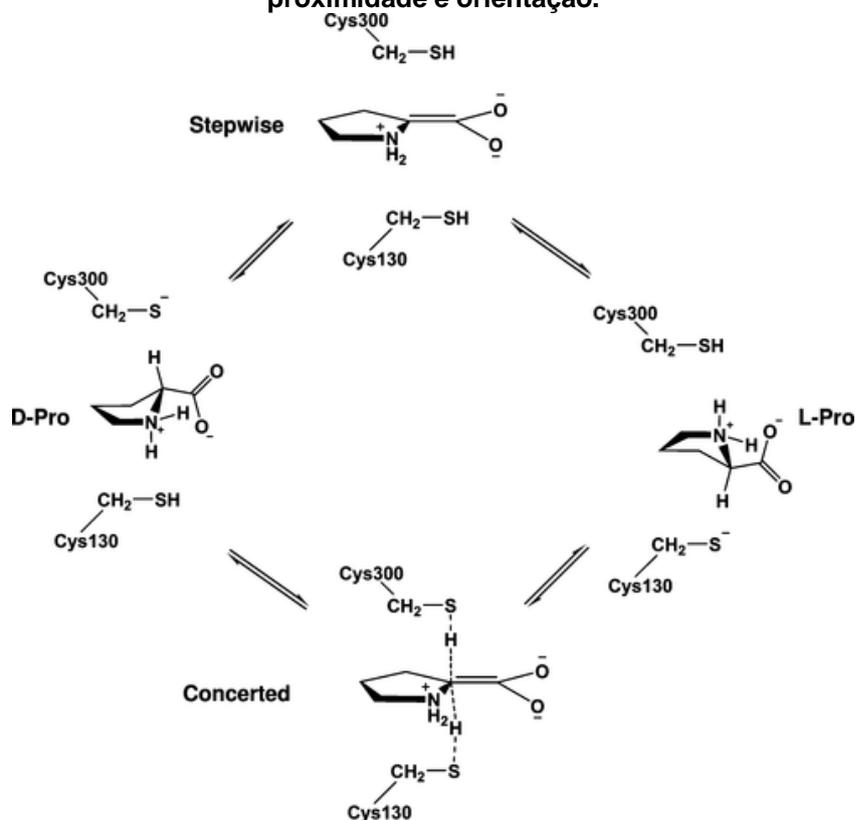
se assemelham aos mecanismos de reações orgânicas utilizados como modelo, as enzimas são muito mais eficientes. Essa eficiência deve ter origem nas condições físicas específicas no sítio catalítico das enzimas que promovem as reações químicas correspondentes (NELSON; COX, 2014). No entanto, sozinha, a proximidade contribui relativamente pouco para a catálise.

Muitas reações incluem dois substratos distintos, onde a velocidade de reação é aumentada por suas aproximações a uma superfície de ligação em uma enzima. A estrutura tridimensional da enzima pode trazer várias cadeias laterais reativas a uma grande proximidade no sítio ativo. Ao se ligar ao substrato no sítio ativo, por meio de interações não-covalentes, a enzima orienta o substrato para a interação mais eficiente com estas cadeias laterais, em uma conformação em que os resíduos no centro catalítico encontram uma posição adequada para dar início à reação e promover a estabilização do estado de transição (MURRAY *et al.*, 2014). Conseqüentemente, os efeitos mais óbvios são a proximidade e a orientação contribuindo para que os reagentes se aproximem em uma orientação espacial apropriada para que a reação possa ocorrer. Este aspecto é importante pois favorece o aparecimento do estado de transição, onde os movimentos relativos aos compostos são mínimos. Ao se ligarem aos substratos, as enzimas facilitam a reação em três aspectos: i) levam os substratos ao contato com os seus grupos catalíticos; ii) ligam os seus substratos na orientação adequada para a reação; e iii) param as deslocções de translação e rotação dos substratos e grupos catalíticos (VOET; VOET; PRATT, 2014; BRUCE, 2006).

Os efeitos de proximidade permitem interações entre os substratos e grupos especiais para a reação, propiciando um aumento de velocidade em um fator de aproximadamente 5 vezes. Já os efeitos de orientação permitem a sobreposição de orbitais eletrônicos, com um aumento de velocidade em um fator de cerca de 100 vezes (NELSON; COX, 2014).

As reações intramoleculares que facilitam a ciclização de moléculas e a fosforilação são estratégias de catálise enzimática baseada nos efeitos de proximidade e orientação. Um desses exemplos é a prolina-racemase, uma enzima que catalisa a reação química: L-prolina → D-prolina (VIEIRA, 2010). Essa enzima possui dois substratos L-prolina e D-prolina, e dois produtos, D-prolina e L-prolina. Ela participa no metabolismo da arginina e prolina. A enzima catalisa a interconversão de L- e D-prolina em bactérias, conforme indicado na Figura 18.

Figura 18: Mecanismo da prolina-racemase, uma catálise enzimática baseada nos efeitos de proximidade e orientação.



Fonte: Rubinstein e Major (2009).

A prolina racemase é uma enzima ausente em mamíferos, mas encontrada em outros organismos. Por exemplo, ela é intracelular ou secretada por *Trypanosoma cruzi*, um hemoflagelado, um parasita flagelado causador da doença de Chagas, Tripanossomíase Americana, uma importante doença parasitária, antropozoonose, transmitida pelo triatomíneo, um inseto popularmente conhecido como bicho-barbeiro, que afeta de 16 a 17 milhões de pessoas na América Latina (MONCAYO, 2003).

As formas do agente etiológico encontradas no inseto vetor obtêm sua energia preferencialmente dos aminoácidos L-prolina, L-aspartico e L-glutâmico/glutamina, constituintes de hemolinfa e fluidos dos tecidos do vetor (VIEIRA, 2010). A prolina racemase tem se mostrado excelente alvo para a terapia da doença de chagas (Chamond et al, 2005). Essa enzima está envolvida no metabolismo, diferenciação e virulência do *T. cruzi* e o aminoácido L-prolina apresenta uma importante participação que afeta o ciclo de vida do parasita como suporte no metabolismo mitocondrial, invasão de células hospedeiras e na metaciclogênese (MONCAYO, 2003). Ao entrar no organismo, o *T. cruzi* produz essa enzima, que estimula uma grande produção de

anticorpos não específicos pelos linfócitos B. Uma estratégia mais adequada que vem sendo buscada se volta ao desenvolvimento de inibidores da prolina racemase.

2.5 NOMENCLATURA E CLASSIFICAÇÃO DAS ENZIMAS

Há, atualmente, 3 métodos aceitos para nomenclatura enzimática (MURRAY, *et al.*, 2014). Em dois desses métodos, as enzimas são nomeadas pela adição do sufixo “ase” ao nome do seu substrato ou à palavra, ou frase, que descreve sua atividade: i) **nome oficial**, normatizado por um comitê especializado, o *Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology*: traz uma notação mais complexa, provendo informações precisas sobre a função metabólica da enzima, conforme a ATP:Glicose:Fosfo-Transferase; e ii) **nome clássico**: nomenclatura mais curta e utilizada no dia a dia dos que trabalham com enzimas; utiliza o sufixo "ase" para caracterizar a enzima. Como exemplos, tem-se: a uréase, que catalisa a hidrólise da ureia; e a DNA polimerase, que catalisa a polimerização dos nucleotídeos para formar o ácido desoxirribonucleico, o DNA. Também há um terceiro método para nomenclatura enzimática, o de **nome trivial**, cuja nomenclatura utilizada é comumente consagrada pelo uso, segundo ocorre com a tripsina, a pepsina e a ptialina.

A classificação das enzimas também é normatizada por um comitê especializado, o *Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (VOET; VOET; PRATT, 2014). De acordo com critérios estabelecidos por esse comitê, as enzimas são categorizadas em seis classes, de acordo com a reação catalisada; cada uma tem suas subclasses. As seis classes das enzimas são: oxirredutases, transferases, hidrolases, liases, isomerases e ligases (NELSON; COX, 2014). O Quadro 2 mostra uma síntese dessas categorias.

Quadro 2: Classificação das enzimas, de acordo com o *Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology*.

Classe	Tipo de reação	Classe	Tipo de reação
1. Óxido-redutases	<p>Óxido-redução</p> $AH_2 + B \rightleftharpoons A + BH_2$	4. Liases	<p>Adição de grupos a duplas ligações ou remoção de grupos, deixando dupla ligação</p> $A=B + X-Y \rightleftharpoons \begin{array}{c} X \quad Y \\ \quad \\ A-B \end{array}$
2. Transferases	<p>Transferência de grupos</p> $A-X + B \rightleftharpoons A + B-X$	5. Isomerasas	<p>Rearranjos intramoleculares</p> $\begin{array}{c} A-B \\ \downarrow \quad \downarrow \\ X \quad Y \end{array} \rightleftharpoons \begin{array}{c} A-B \\ \downarrow \quad \downarrow \\ Y \quad X \end{array}$
3. Hidrolases	<p>Hidrólise</p> $A-B + H_2O \rightleftharpoons A-H + B-OH$	6. Ligases	<p>Condensação de duas moléculas, associada ao consumo de ATP</p> $A+B \rightleftharpoons A-B$

Fonte: Marzzoco; Torres, 2015

As oxirredutases são enzimas que catalisam as reações de oxirredução através de transferências de elétrons (Figura 19) que podem ser íons híbridos ou átomos de H (VOET; VOET; PRATT, 2014). Quando o substrato oxidado é um hidrogênio ou um doador de elétron, elas são chamadas “desidrogenases”; e oxidases, quando oxigênio (O₂) é o acceptor (MARZZOCO; TORRES, 2015).

Figura 19: Equações de reações enzimáticas com oxirredutases.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

As transferases catalisam a transferência de grupos; fosfato, metila, amina, aldeído, cetona etc. (Figura 20) de um composto para o outro (NELSON; COX, 2014). O doador pode ser um cofator (coenzima) que carrega o grupo a ser transferido (MARZZOCO; TORRES, 2015).

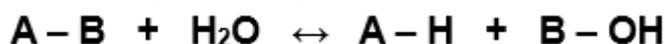
Figura 20: Equações de reações enzimáticas com transferases.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

As hidrolases catalisam as reações de hidrólise de ligações covalentes éster, glicosídicas, peptídicas e C-N, através da transferência de grupos funcionais para moléculas de água (Figura 21). São exemplos de hidrolases: amilase, urease, pepsina, tripsina, quimotripsina e várias peptidases e esterases (NELSON; COX, 2014).

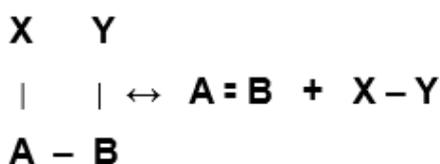
Figura 21: Equações de reações enzimáticas com hidrolases.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

As liases são enzimas que adicionam ou removem elementos de água, amônia ou dióxido de carbono. Elas catalisam a clivagem de ligações de C-C, C-O, C-N ou outras ligações (Figura 22), formam ligações duplas com a retirada de grupos funcionais ou destroem ligações duplas através da adição de grupos funcionais (VOET; VOET; PRATT, 2014).

Figura 22: Equações de reações enzimáticas com liases.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

As isomerases catalisam reações de transferência de grupos dentro de uma mesma molécula, produzindo substâncias isoméricas (Figura 23), sejam elas estereoisoméricas Z-E (ou cis-trans) ou estereoisoméricas contendo centros estereogênicos (NELSON; COX, 2014).

Figura 23: Equações de reações enzimáticas com isomerases.

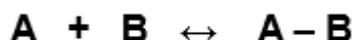


Fonte: elaborado pela autora (2023).

As ligases, também conhecidas como carboxilases ou sintetases, são enzimas que catalisam reações de síntese entre duas moléculas (Figura 24), através da formação de ligações C-C, C-S, C-O e C-N por reações de condensação acopladas à hidrólise de trifosfato de adenosina (ATP) ou outros cofatores (VOET; VOET; PRATT,

2014). Essas enzimas causam a degradação da molécula de ATP, usando a energia liberada nesta reação para a síntese de novos compostos, unindo duas moléculas.

Figura 24: Equações de reações enzimáticas com ligases.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

A ligase glutamina sintetase é a enzima chave para a síntese da glutamina e para a regulação do metabolismo celular do nitrogênio (NELSON; COX, 2014). Ela viabiliza a catálise de conversão de glutamato em glutamina e da utilização da amônia como fonte de nitrogênio e com consumo de ATP. Essa é uma aminotransferase amplamente distribuída entre os organismos vivos, sendo sua atividade fundamental para a manutenção da vida de microrganismos e de animais (VOET; VOET; PRATT, 2014). Por exemplo, nos rins, a glutamina sintetase é imprescindível para o controle do metabolismo do nitrogênio e manutenção do pH no organismo (CRUZAT; PETRY; TIRAPGUI, 2009).

Cada enzima é classificada com 4 números, cujo modelo estrutural é EC X.X.X.X. (MARZZOCO; TORRES, 2015). O primeiro número designa a classe, ou seja, a reação que é catalisada, o segundo é a subclasse, que mostra qual função é envolvida, o terceiro detalha sobre a reação catalisada, sinalizando substrato ou o grupo receptor, e o último dígito é número de série da enzima em sua subclasse (FANI, 2016).

2.6 A INFLUÊNCIA DO MEIO SOBRE A ATIVIDADE ENZIMÁTICA

A função catalítica das enzimas depende de que sua estrutura terciária esteja intacta (NELSON; COX, 2014). Agentes físicos ou químicos, tais como calor ou extremos de pH ou agentes desnaturizantes causam perda da ação catalítica. Isso ocorre porque qualquer agente que seja capaz de provocar uma alteração da conformação tridimensional da proteína poderá afetar a ação enzimática que ela exerce na reação. Diferentes fatores podem interferir na atividade enzimática, dentro das condições reacionais, como: as concentrações da enzima e do substrato, a temperatura, a acidez e o tempo.

2.6.1 Influência da Temperatura Sobre a Atividade Enzimática

A velocidade da atividade enzimática segue o comportamento das reações químicas, aumentando quando há acréscimo da temperatura. Entretanto, a temperatura interfere diretamente na atividade enzimática, de duas formas distintas (MARZZOCO; TORRES, 2015). A velocidade da reação aumenta até um máximo e, após determinada temperatura, ela declina rapidamente, mesmo aumentando a temperatura. Isso ocorre porque a estrutura tridimensional das enzimas se rompe, impossibilitando-a de formar o complexo enzima-substrato. Sendo assim, as enzimas possuem uma faixa de temperatura ótima e maioria das enzimas dos seres humanos apresenta uma temperatura ótima entre 35 °C e 40 °C diminui por um fator de 2 a cada variação de 10 graus centígrados na faixa de 10° a 70° (VOET; VOET; PRATT, 2014).

A velocidade de reação aumenta ou diminui por um fator de 2 a cada variação de 10 graus centígrados na faixa de 10° a 70° (NELSON; COX, 2014). Assim, há um intervalo de temperatura compatível, onde ocorre o aumento da energia cinética e, conseqüentemente, o aumento da probabilidade de choques efetivos entre elas. Tal processo possibilita o aumento da velocidade da reação, sem a alteração da estrutura espacial da enzima. Porém, quando a temperatura se torna mais elevada, em comparação com as temperaturas compatíveis com a reação, ocorre a desnaturação da enzima, ou seja, sua estrutura tridimensional é perdida, por causa da alteração das ligações químicas.

Rompidas as pontes de hidrogênio, que são ligações bastante termolábeis, desencadeia-se uma cascata de alterações estruturais, levando a enzima a uma nova conformação ou a um estado sem estrutura definida; a enzima é dita, então, desnaturada. A temperatura que provoca desnaturação naturalmente varia para cada enzima, mas, geralmente, está pouco acima de sua temperatura ótima. Os agentes desnaturantes preservam apenas as estruturas covalentes da estrutura proteica, ou seja, as ligações peptídicas (da estrutura primária) e as pontes dissulfeto (da estrutura terciária). Não só as temperaturas elevadas levam à desnaturação. Outras variáveis do meio que afetam as ligações químicas têm o mesmo efeito. (CAMPELLO, 2010, p. 10).

Assim, valores extremos de pH, provocando protonação ou desprotonação de grupos, ocasionam perda da atividade da enzima. Por exemplo, particularmente no caso da fabricação do pão, esse fator é importante. No instante em que o pão entra no forno, a temperatura no seu interior é menor que na parte de fora. Com isso, na primeira metade do tempo de assadura, as enzimas agem no açúcar com grande rapidez; depois, são destruídas.

2.6.2 Influência do pH Sobre a Atividade Enzimática

Também existe um valor da temperatura para atividade enzimática ótima, o qual, após ele ocorre um rápido decréscimo. Por isso, a maioria das enzimas possui máxima atividade em um valor pH específico, que também é chamado de pH ótimo. À medida que ocorre o distanciamento do valor ótimo de pH a velocidade da reação diminui (MARZZOCO; TORRES, 2015). No entanto, a influência do pH sobre a catálise enzimática só pode ser compreendida a partir da análise dos grupos dissociáveis presentes nos grupos R dos aminoácidos (BORZANI et al., 2001).

As enzimas possuem grupos químicos ionizáveis nos resíduos dos aminoácidos e dependendo do pH esses grupos podem apresentar-se de forma protonados ou desprotonados.

Em resumo, a influência do pH sobre a catálise enzimática é exercida sobre os grupos dissociáveis de vários aminoácidos. Alguns desses grupos podem fazer parte do sítio ativo ou serem importantes na manutenção da estrutura espacial da molécula. A cada valor de pH, alguns desses grupos apresentam-se protonados ou desprotonados. (CAMPELLO, 2010, p. 10).

Há uma concentração hidrogeniônica que propicia um determinado arranjo de grupos protonados e desprotonados que leva a molécula da enzima à conformação ideal para exercer seu papel catalítico (BORZANI et al., 2001). O pH ótimo depende da estrutura primária da enzima, mas, para a maioria das enzimas, o valor ótimo de pH está na faixa de 6 a 8 (NELSON; COX, 2014). Por outro lado, quando o substrato contém grupos ionizáveis, as variações do pH também poderão afetar suas cargas. A eficiência da catálise dependerá, então de encontrarem-se, enzima e substrato, com conformação e carga adequadas para permitir a interação (MARZZOCO; TORRES, 2015). Por exemplo, a pepsina é uma enzima digestiva estomacal que atua eficientemente no pH fortemente ácido do estômago, em torno de 2, onde a maioria das enzimas seria desnaturada (NELSON; COX, 2014).

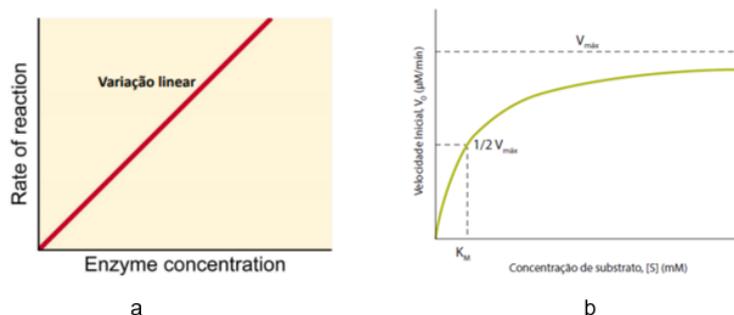
2.6.3 Influência do Tempo Sobre a Atividade Enzimática

A atividade enzimática é influenciada diretamente pela ação do tempo. Quanto mais tempo a enzima estiver em contato com o substrato, mais produtos serão produzidos, enquanto houver substrato efeito pH enzima (VOET; VOET; PRATT, 2014).

2.6.4 Influência da Concentração Sobre a Atividade Enzimática

A concentração é outro fator que influencia a atividade enzimática, tanto a concentração do substrato quanto a da própria enzima, pois a velocidade da reação é proporcional à concentração de enzima (NELSON; COX, 2014). Aumentar a concentração enzimática fará a reação acelerar, desde que haja substrato disponível para a enzima se ligar. Uma vez que todo o substrato esteja ligado, a reação não vai mais acelerar, pois não haverá mais nada a que as enzimas adicionais possam se ligar. Por outro lado, aumentar a concentração de substrato também aumentará a taxa de reação, porém até um certo ponto. Isso porque, assim que todas as enzimas tenham se ligado, mais nenhum aumento de substrato terá efeito sobre a taxa de reação, uma vez que as enzimas disponíveis estarão saturadas e trabalhando em sua taxa máxima (MARZZOCO; TORRES, 2015). A Figura 25 ilustra essa abordagem indicando as curvas de velocidade de reação catalisada por enzima, avaliando-se o efeito da concentração do substrato. A afinidade pelo substrato é expressa em termos de uma constante: K_M .

Figura 25: Curvas de velocidade de reação catalisada por enzima.



K_M é a afinidade pelo substrato.

a) Efeito da concentração

b) Efeito da concentração do substrato.

Fonte: Marques (2014).

Quanto menor o K_M , maior a afinidade da enzima pelo substrato. Por exemplo, a hexokinase (glicose) apresenta $K_M = 0,05 \mu\text{M}$ enquanto a hexokinase (frutose) um $K_M = 1,5 \mu\text{M}$ (MARQUES, 2014).

2.7 INIBIDORES ENZIMÁTICOS

Inibidores enzimáticos são substância moleculares capazes de se ligar a uma enzima impedindo a sua atividade catalítica, parcial ou totalmente (KIELING, 2002). Alguns desses inibidores estão presentes normalmente na célula; outros são

estranhos aos organismos. Diferentes processos produtivos constam com a adição de inibidores enzimáticos, como acontece na produção de vinhos. Assim que a película do bago de uva é rompida, o sumo da uva fica exposto ao ar e as oxidases - tirosianase e lacase - fixadas nas partes sólidas da uva, começam a fazer estragos, caso não se proteja o mosto contra a ação destas enzimas (FARINAS, 2011). A passagem das oxidases para o mosto, assim como a dimensão dos estragos provocados, depende do trabalho mecânico exercido sobre a vindima. O anidrido sulfuroso é o inibidor aliado, pois impede estas enzimas de trabalharem e fixarem rapidamente oxigênio nos polifenóis do mosto, degradando a sua qualidade (MONTEIRO; DO NASCIMENTO SILVA, 2009).

Os mecanismos de inibição dependem da interação entre o inibidor e os resíduos do sítio catalítico e, segundo a estabilidade de sua ligação com a molécula de enzima, podem ser classificados em dois grandes grupos: inibidores reversíveis ou irreversíveis (NELSON; COX, 2014).

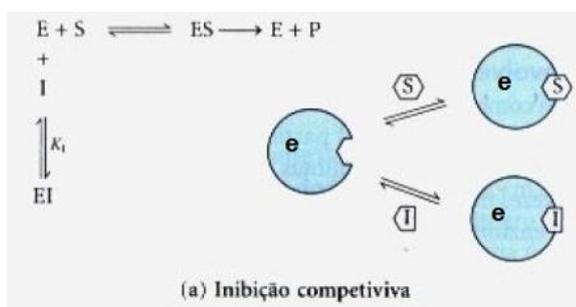
2.7.1 A Inibição Enzimática Reversível

As moléculas que diminuem a atividade catalítica das enzimas podem-se apresentar de tal forma que promovam uma inibição reversível, na qual o inibidor forma um complexo com a enzima através de uma ligação instável não-covalente (MARZZOCO; TORRES, 2015). Com isso, a enzima retorna a sua atividade catalítica após a dissociação com o inibidor. Há três principais tipos de inibição enzimática reversível: i) competitivo; ii) não-competitivo; e iii) incompetitivo (VOET; VOET; PRATT, 2014). Esses três tipos podem ser distinguidos experimentalmente pelos efeitos do inibidor sobre a cinética de reação da enzima.

Um tipo de inibição enzimática reversível é inibição competitiva. Nesse tipo, o inibidor é semelhante ao substrato e compete com este para o local de ligação no centro ativo da enzima, pois se liga ao centro ativo, bloqueando a interação do substrato com o local de ligação. Por apresentar estrutura semelhante ao do substrato, o inibidor liga-se ao sítio ativo da enzima formando o complexo enzima-inibidor (EI), impossibilitando o processo catalítico (NELSON; COX, 2014). Com isso, há a diminuição da afinidade da enzima para o substrato. No entanto essa inibição é reversível porque o inibidor pode ser superado através de um excesso do substrato. À medida que a afinidade diminui, o valor de K_m aumenta, uma vez que é necessário

um aumento da concentração do substrato para obter metade da velocidade máxima e, desse modo, a V_{max} não é alterada (MARZZOCO; TORRES, 2015). A Figura 26 ilustra essa discussão sobre inibição competitiva.

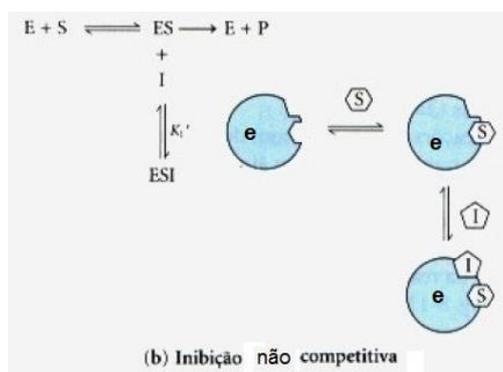
Figura 26: Inibição enzimática competitiva, reversível.



Fonte: Nelson e Cox (2014).

Outro tipo de inibição enzimática reversível ocorre via inibidores não competitivos, ou seja, moléculas que possuem uma grande afinidade com a enzima, porém não se assemelham ao substrato (VOET; VOET; PRATT, 2014). Na inibição não competitiva, o inibidor se liga e inibe a enzima fora do centro ativo, geralmente no local (ou sítio) alostérico, o lugar onde o regulador se liga. Desse modo, o substrato pode continuar a se ligar ao centro ativo, mas não é convertido devido à ligação adicional do inibidor, incidindo na diminuição do número de complexos funcionais enzima-substrato. O processo de inibição não competitivo pode ser ocasionado por meio de ligação a grupamentos que não pertencem ao centro ativo ou por ligação ao complexo enzima-substrato (ES), alterando a estrutura enzimática impossibilitando a catálise (NELSON; COX, 2014). Os inibidores mistos se ligam em regiões diferentes do sítio ativo, mas podem se ligar tanto a E como a ES, conforme indicado na Figura 27.

Figura 27: Inibição enzimática não competitiva.

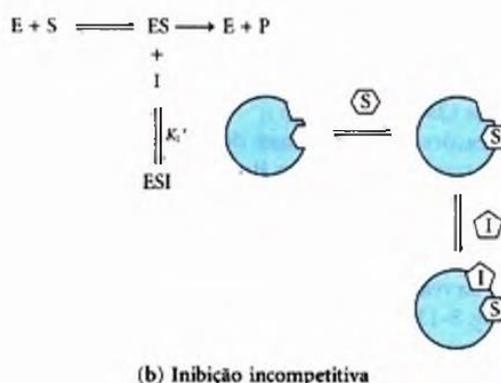


Fonte: Nelson e Cox (2014).

A inibição não competitiva pode ser reversível ou irreversível, pois o excesso de substrato não substitui o inibidor. Tais características fazem com que a V_{max} diminua enquanto o K_m permaneça inalterado (VOET; VOET; PRATT, 2014).

O terceiro tipo de inibição enzimática reversível é a inibição incompetitiva, uma forma rara de inibição enzimática. Caracteriza-se por ligação específica no complexo enzimático-substrato, onde o inibidor também se liga fora do centro ativo, mas somente se o complexo enzimático-substrato já estiver formado (VOET; VOET; PRATT, 2014). Sendo assim, o inibidor não se combina com a enzima, nem interfere a reação de formação do complexo enzima-substrato. O processo de inibição ocorre pela formação de um complexo ternário inativo Enzima-Substrato-Inibidor (ESI) através da combinação do inibidor, impossibilitando assim a reação de produção do produto (Figura 28).

Figura 28: Inibição enzimática incompetitiva.



Fonte: Nelson e Cox (2014).

O resultado da inibição incompetitiva é uma mudança conformacional reversível e, conseqüentemente, a inativação da enzima, porém evitando a libertação do substrato do local de ligação. O K_m é reduzido à medida que o inibidor faz a reação favorecer o complexo enzimático-substrato, criando um aumento inicial na taxa de reação. Por sua vez, a V_{max} também é reduzida à medida que a enzima é impedida de formar produtos (MARZZOCO; TORRES, 2015).

2.7.2 A Inibição Enzimática Irreversível

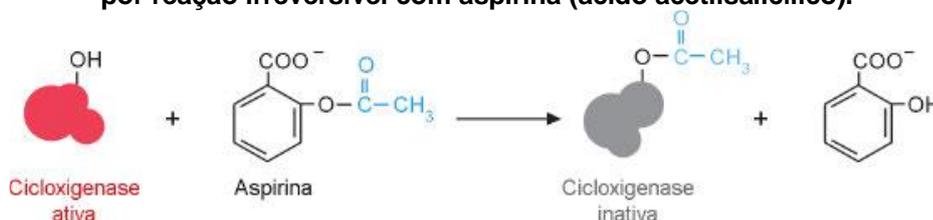
Os inibidores irreversíveis formam um complexo estável com a enzima através de uma ligação covalente entre o inibidor-enzima através do sítio ativo enzimático (MARZZOCO; TORRES, 2015). Esse tipo de ligação promove a destruição dos grupos funcionais essenciais da enzima levando a inatividade definitiva. Eles agem de duas formas podendo ser convertido em um composto muito reativo combinando-se com a

enzima de forma irreversível, ou forma um complexo inibidor potente que é capaz de impedir a etapa seguinte da via metabólica. Devido a sua inespecificidade e ao tipo de ligação irreversível com a enzima, os inibidores irreversíveis são muito tóxicos para os organismos (VOET; VOET; PRATT, 2014).

Um bom exemplo de inibidor irreversível é o íon cianeto (CN⁻), que se une à enzima citocromo oxidase, enzima muito importante no processo de respiração celular, levando à sua inativação definitiva (NELSON; COX, 2014). Compostos orgânicos clorados ou fosforados também são bons exemplos de inibidores enzimáticos irreversíveis, pois reagem com o resíduo S1 de serino-enzimas, formando um complexo irreversível (MARZZOCO; TORRES, 2015). Uma das enzimas altamente sensível a esses compostos é a acetilcolinesterase, responsável pela metabolização do neurotransmissor acetilcolina em neurônios centrais e periféricos, conforme acontece com o mecanismo de ação dos inseticidas organofosforados, como o malathion e o parathion (VIDA; PORTUGAL, 2010).

Outro exemplo de inibidor irreversível é a aspirina, o ácido acetilsalicílico (VIEGAS JR; BOLZANI; BARREIRO, 2006). A aspirina promove inibição irreversível da atividade da ciclooxigenase (COX) pela ligação covalente com uma molécula de serina do local ativo, como ilustrado na Figura 29. Na estrutura da COX-1, a aspirina acetila a serina na posição 530, prevenindo a ligação do ácido araquidônico ao local ativo da enzima; na COX-2, a acetilação da molécula de serina ocorre na posição 516 (OLIVEIRA, 2001).

Figura 29: Exemplo de inibição enzimática irreversível, a reação de inativação da ciclooxigenase por reação irreversível com aspirina (ácido acetilsalicílico).



Fonte: Marzzoco e Torres (2015).

Ao longo do texto apresentado até este tópico, é possível verificar a importância das enzimas, tanto em termos das suas funções nos organismos quanto de suas aplicações. As enzimas são macromoléculas de proteínas, ou seja, têm tamanho coloidal. Apesar de estarem na mesma fase dos seus respectivos reagentes, elas são suficientemente grandes e possuem sítios sobre a sua superfície. A alta performance dos biocatalisadores pode ser explicada por alguns fatores que contribuem para suas

altas taxas de conversão e formação de produtos estereoespecíficos: i) alta especificidade dos sítios catalíticos, permitindo que os reagentes permaneçam na orientação correta e aumente a probabilidade de ocorrência de colisões efetivas para ocorrência da reação; ii) estrutura, contribuindo para que as ligações da molécula ligada à enzima sofra uma distorção, resultando no aumento da energia interna e diminuição da energia de ativação da reação; iii) mudança na conformação estrutural do sistema enzima-substrato, levando à diminuição da entropia e à uma mudança na atividade da enzima. A utilização de biocatalisadores enzimáticos apresenta diversas vantagens em diferentes atividades humanas. Por isso, ao longo da história, as enzimas passaram a ser mais utilizadas em atividades domésticas e em processos industriais, como será mais destacado no próximo tópico.

2.8 APLICAÇÕES DAS ENZIMAS

As enzimas têm sido utilizadas pela humanidade há milhares de anos, antes mesmo de sua natureza, propriedades, funcionamentos e especificações serem conhecidos. Utilizadas a partir de vegetais, de animais e, principalmente, de microrganismos, o espectro de aplicações desses biocatalisadores aumentou ainda mais. Com o avanço da biologia molecular, em atendimento a demandas específicas, novas enzimas passaram a ser projetadas para melhorar estabilidades e atividades catalíticas em produtos e processos (ALBERTS, 2011).

As enzimas são biodegradáveis, atóxicas e utilizadas em pequena quantidade (BORZANI, 2001). Além disso, muitas reações enzimáticas são realizadas sob pressão atmosférica e à temperatura ambiente, condições amenas e que possuem um impacto econômico positivo, conjunto de fatores que também contribuem para uma geração reduzida de rejeitos, propiciando processos mais sustentáveis (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020). Outra vantagem da aplicação de enzimas em variados tipos de processos está relacionada com a possibilidade de otimização das suas características catalíticas por meio da bioengenharia das proteínas. Com isso, pode-se aumentar a seletividade e a atividade enzimática para uma dada reação, seja pela utilização de enzimas naturalmente já existentes em variados substratos, ou pela combinação de enzimas com centros metálicos, para a formação de metaloenzimas (VENTURA; FREITAS; FREIRE, 2008).

A manipulação enzimática tem melhorado a produção de diferentes insumos domésticos, institucionais e industriais, contribuindo para que o consumo global de

enzimas movimente um mercado de mais de uma dezena de bilhões de dólares/ano (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020).

As enzimas podem ser aplicadas em uma ampla gama de processos industriais, sejam isoladas ou sendo produzidas *in situ* por microrganismos (PARK, 2007). Os avanços na catálise enzimática têm impulsionado uma diversidade de aplicações, como pode ser verificado nas bebidas e nos produtos alimentícios, saneantes, têxtis, cosméticos, farmacêuticos, químicos, entre outros. A seguir, são algumas das soluções biotecnológicas empregadas ou propostas para alguns desafios encontrados nesses diferentes segmentos.

Uma das indústrias que mais utiliza enzimas nos seus processos é a de alimentos e bebidas. Elas vêm sendo agentes de grande interesse para a tecnologia de alimentos seja por causa do seu potencial na formação de compostos necessários à obtenção de produtos ou de compostos indesejáveis, que podem levar a deterioração de constituintes dos produtos e interferirem em suas qualidades.

A atividade das enzimas tem sido observada há milênios, através da transformação da uva em vinho, da cevada em cerveja, do trigo em pão, do leite em queijo na produção de pão, vinho e cerveja, com registros de seus usos há 4.000 anos (NELSON; COX, 2014). Mais recentemente, elas vêm auxiliando na criação de produtos com alto padrão de qualidade, que sejam mais saudáveis, saborosos e inovadores, dentro de processos mais eficientes e sustentáveis, com economia de água e energia. De forma geral, as principais aplicações das enzimas no setor alimentício estão nas áreas de condimentos, álcool e derivados; amidos e açúcares; cervejaria; laticínios e derivados; óleos e gorduras; panificação e biscoitaria; vinicultura; e sucos de frutas (PALERMO, 2014).

As proteases vegetais possuem uma ampla gama de aplicações na indústria de alimentos. As enzimas proteolíticas vegetais de uso comercial são: a bromelina, do abacaxi; a papaína, do mamão, e a ficina, do figo, menos utilizada que as anteriores (MONTEIRO; DO NASCIMENTO SILVA, 2009). As proteases são enzimas catalíticas que quebram ligações peptídicas nas proteínas levando a formação de grupamentos amino e ácido carboxílico que posteriormente dão origem a aminoácidos livres (FANI, 2016). São muito utilizadas como amaciante de carnes, atuando diretamente na actina e miosina da carne. Também têm sido utilizadas na clarificação de bebidas, na produção de ovos desidratados, na produção de leite de soja e isolados proteicos, entre outras áreas.

Pão, vinho, cerveja, queijo e outros produtos lácteos são alimentos obtidos por meio de fermentação, que compreende um conjunto de reações enzimaticamente controladas, através das quais uma molécula orgânica é degradada em compostos mais simples, liberando energia. Nesse processo, o aceptor final de elétrons é uma molécula orgânica e a obtenção de energia que ocorre sem a presença de oxigênio (O_2), ou seja, ela se processa por via anaeróbia (MARZZOCO; TORRES, 2015). Essa via é muito utilizada por fungos, bactérias e células musculares esqueléticas do corpo humano, quando estas últimas estão em contração vigorosa e prolongada.

A glicose é uma das substâncias mais empregadas como ponto de partida da fermentação. Nesse processo, há a formação de ácido pirúvico que é transformado em: ácido láctico, resultante de uma fermentação láctica; ou em etanol e CO_2 , quando da fermentação alcoólica (NELSON; COX, 2014). No caso da fermentação alcoólica, ela usualmente é realizada por leveduras e bactérias, sendo bastante explorada economicamente pela indústria, principalmente para a fabricação de alimentos como o pão, bolos e bebidas, tais como a cerveja, o vinho e os destilados. Na indústria alimentícia, diferentemente do que ocorre no ser humano, a fermentação láctica é realizada pela utilização de bactérias, protozoários e fungos, para a produção de iogurte, coalhada e queijos. (FANI, 2016).

O setor de lácteos é um tradicional usuário de enzimas. A produção industrial de queijo e de outros laticínios utiliza várias enzimas em processos como: coagulação, separação de fases (líquido/sólido) e flavorização (PARK, 2007). Porém, a preparação enzimática mais conhecida utilizada pelo setor é o coalho, nome coletivo dado às preparações comerciais contendo proteases ácidas extraídas de tecidos animais (CAVALCANTE, et al., 2007).

A indústria de lácteos também faz uso de outras enzimas, para além da coagulação do leite para fabricação de queijo, como: as lipases, proteases não-coagulantes, amino peptidases, lisozima, lactase e lactoperoxidase (DANTAS; VERRUCK; PRUDENCIO, 2019). A lipase tem sido tradicionalmente utilizada para realçar o sabor. Outras finalidades de uso enzimático são relativamente novas, como a hidrólise da lactose, para acelerar a maturação dos queijos, para controlar a deterioração microbiológica, e para alterar a funcionalidade das proteínas (JUSTINA; JUSTINA; SKORONSKI, 2018). Uma aplicação crescente nesse setor é a produção de derivados com “zero lactose”.

O leite e os demais produtos lácteos “zero lactose” ou com baixo teor de lactose são exemplos da aplicação da lactase, ou a β -D-galactosidase (DANTAS; VERRUCK; PRUDENCIO, 2019). Esses produtos são destinados a pessoas que têm dificuldade em digerir a lactose, portanto, que são intolerantes à lactose. O leite sem lactose é o leite padrão (desnatado ou integral) com a adição da enzima lactase, que é adicionada junto ao leite no início desse processo industrial. A deslactoseação se resume a deixar o leite em repouso para sofrer ação da enzima, por um período de três a quatro horas, em temperatura ambiente (JUSTINA; JUSTINA; SKORONSKI, 2018). Ao ser adicionada, a lactase quebra a lactose em dois componentes: glicose e galactose. Desse modo, não é retirado nenhum componente, apenas a lactose é degradada para que as pessoas não tenham reações adversas, porque não produzem tal enzima.

Pães industrializados também têm processo de fabricação beneficiados pelas enzimas. Como o amido cristaliza com o tempo causando rigidez, amilases são utilizadas no processo de panificação para contornar esse problema. Essas enzimas são adicionadas às massas de pão para suplementar o efeito de enzimas naturais, durante a fermentação. Elas quebram o amido e aumentam a meia vida e qualidade dos produtos (PALERMO, 2014).

As amilases são enzimas importantes principalmente pela sua capacidade de romper as ligações glicosídicas no amido e são utilizadas em muitos outros processos, como na produção de cervejas, de outras bebidas, na produção de xaropes de milho e de D-glucose (BARROS, et al., 2010).

As enzimas também apresentam um importante papel na produção de vinhos. Elas têm um papel fundamental na etapa da fermentação, quando as leveduras que estão presentes no mosto de uva - o “suco” que as frutas liberam depois de serem esmagadas - transformam os açúcares em álcool e dióxido de carbono (JUSTINA; JUSTINA; SKORONSKI, 2018). No entanto a atividade enzimática na vinicultura vai bem mais além. Elas aumentam rendimentos e melhoram a extração de compostos da matéria prima, a qualidade organoléptica, a clarificação, a estabilidade e a filtrabilidade dessas bebidas (MONTEIRO; DO NASCIMENTO SILVA, 2009). São exemplos de enzimas usadas para propiciar benefícios qualitativos e quantitativos à enologia: i) lisozimas, usadas para o controle de bactérias lácticas, possuem atividade antimicrobiana, pois têm a capacidade de romper a parede celular de certas espécies de bactérias; ii) pectinases, são adicionadas no esmagamento das uvas ou no mosto de vinho para auxiliar na quebra da pectina, melhorando a extração do suco,

aumentam o conteúdo de terpenos no vinho e contribuindo para a redução do tempo de clarificação; e iii) beta-glucanases, melhoram a filtração e a clarificação de vinhos produzidos a partir de uvas infectadas por *Botrytis cinerea*, uma espécie de fungo que secreta o polissacarídeo β -glucano e dificulta a filtração do vinho. Este último aspecto é um problema específico dos vitivinicultores que produzem vinhos a partir de cachos atacados por *B. cinérea* (PENNA; HECKTHEUER, 2004). Esse fungo produz beta-glucanos - biopolímeros de glicose com alto peso molecular - que passam para o vinho. Essas macromoléculas prejudicam a clarificação e entopem rapidamente os filtros. No entanto, são facilmente removidas pela adição de beta-glucanase ao vinho, pois ela é uma enzima altamente específica (MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES, 2007).

Outras enzimas também vêm sendo utilizado da vinicultura para ajudar na liberação de aromas do vinho. É o caso das glicosidases que hidrolisam os terpenil glicosídeos. Os terpenos liberados nessas reações são um dos importantes componentes do *bouquet* de cada vinho (PEREIRA, 2008).

A aplicação de enzimas nos setores de bebidas e de produtos alimentícios impulsionou a utilização desses biocatalisadores em diversas outras áreas, como na de saneantes. Elas têm atendido às demandas por formulações mais eficazes no desempenho de limpeza, na remoção de manchas, com maior estabilidade e benefícios de sustentabilidade (MIRANDA; LOFFREDO, 2005). As novas enzimas que têm sido comercializadas combatem melhor as manchas, usam menos água e energia e substituem ingredientes derivados de petroquímicos, chegando a reduzir pela metade o número de ingredientes necessários para formular produtos de lavanderia, por exemplo. O Quadro 3 ilustra a algumas classes de enzimas utilizadas em formulações de detergentes e limpadores líquidos utilizados em procedimentos domésticos, institucionais e industriais.

Quadro 3: Enzimas utilizadas em formulações de detergente e limpadores líquidos utilizados em procedimentos domésticos, institucionais e industriais.

Enzima	Alvos	Ação
Mananase	Mananos, polímeros de manose que se ligam fortemente às fibras de celulose e atraem partículas do sólidas suspensas nas águas de lavagem	Remoção de carboidratos, como goma xantana e goma guar, utilizados como espessantes em produtos industrializados como achocolatados, sorvetes, sobremesas, produtos lácteos, molhos de salada, cosméticos, cremes, maquiagem, etc.
Lipase	Lipídeos insolúveis	Hidrolisa os lipídeos insolúveis presentes em gorduras e óleos, seja em ambiente doméstico (óleos vegetais, manteigas, batom etc.) ou em processos industriais que tenham esses materiais como seus derivados como principal substrato (alimentos processados e in natura, como leites, cremes, sopas, molhos, óleos, azeites, carnes, condimentos, molhos para saladas, cosméticos).
Amilase	Amido	Hidrolisa o amido em oligossacarídeos menores, facilitando a remoção de manchas, tanto de produtos do ambiente doméstico (farinha, batata, catchup, pizza etc.) quanto e em processos de limpeza que tenham carboidratos e seus derivados como substrato.
Protease	Peptídeos insolúveis	Remoção de manchas proteicas ressecadas como sangue, ovos, grama e afins.
Celulase	“Pilling”, fragmentos de fibras de celulose quebradas que se formam em tecidos de algodão	Anti-pilling, prevenção e remoção de “pilling” para evitar que o tecido apresente um aspecto desgastado e desbotado.

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Há muitos outros tipos de produtos de limpeza cuja ação é enzimática. Esse é o caso de produtos à base de microrganismos naturais vivos, cujas enzimas lipolíticas digerem os detritos gordurosos para desobstruir e limpar tubulações e caixas de esgoto, caixas de gordura e fossas (MIRANDA; LOFFREDO, 2005). No entanto, as capacidades enzimáticas de bactérias, leveduras e fungos em biodegradar outros materiais também vêm sendo exploradas, conforme acontece na remoção de hidrocarbonetos de tubulações na indústria petroquímica (GIORDANO, 2004).

As enzimas também se destacam em outras aplicações tecnológicas da indústria de petróleo e gás. O Quadro 4 apresenta algumas dessas aplicações.

Quadro 4: Exemplos de algumas enzimas utilizadas na extração e no beneficiamento do petróleo.

Etapa	Utilização	Enzima
Exploração e produção de Petróleo	Adição de fluidos de perfuração, que são misturas complexas de sólidos, líquidos e/ou gases, usados durante a perfuração dos poços de petróleo.	Amilases
	Remoção do reboco, os sólidos do fluido que se depositam sobre a parede do poço formando um filme	Amilases, hemicelulases, celulases
	Alteração da molhabilidade da rocha, por modificações na repulsão eletrostática entre as gotas de óleo e a matriz rochos	Lipases e esterases
	Recuperação de metano em leitos de carvão	Nitrogenases
	Controle de biocorrosão	Lisozima e quitinase
Refino	Desmetalação de metais na forma de sais inorgânicos e organometálicos (petroporfirinas).	Cloroperoxidase
	Biodessulfurização	Cloroperoxidase
	Degradação de asfaltenos, fração mais pesada do petróleo, heterogenea, alto grau de aromáticos	Cloroperoxidase

Fonte: elaborado pela autora (2023).

A necessidade de preservação dos recursos naturais e, principalmente, a previsão de escassez dos recursos fósseis têm contribuído para que a indústria petroquímica intensifique as pesquisas e implemente processos mais ambientalmente amigáveis. Um exemplo nessa direção é a produção de butadieno, um insumo com crescente demanda mundial, pois é matéria-prima utilizada na fabricação de borracha para pneus e com aplicações em aparelhos elétricos, calçados, plásticos, asfalto, materiais de construção e látex. Atualmente, diferentes empresas do setor energético vêm trabalhando no desenvolvimento de rotas enzimáticas para a produção do butadieno a partir fontes renováveis, por catálise com enzimas modificadas (SILVA; DE SOUZA; ANTERO, 2017). Os bons frutos colhidos vêm incentivando ainda mais as pesquisas por aplicações enzimáticas.

Uma enzima, recém-descoberta, tem causado expectativa por causa da sua potencialidade em substituir o petróleo por fontes vegetais na produção de biocombustíveis e plásticos sustentáveis: uma descarboxilase metaloenzima

proveniente da bactéria *Rothia nasimurium* (RADE et al., 2023). Ela demonstra perspectivas promissoras na desoxigenação de biomassas vegetais, para a produção de hidrocarbonetos renováveis, moléculas precursoras para a produção de combustível de aviação e polímeros para polímeros, resinas e solventes de origem biológica. Assim como ocorre com outras pesquisas de aplicações enzimáticas, aumenta o interesse da sua utilização para o desenvolvimento de novas rotas biotecnológicas para a produção de hidrocarbonetos renováveis a partir de diferentes matérias-primas, tais como: biomassas oleaginosas, originárias da soja, macaúba ou milho, entre outros; ou lignocelulósicas, de fontes como o bagaço ou a palha da cana e da indústria do papel.

A indústria de papel e celulose é um setor que tem empregado bastante os processos enzimáticos, principalmente para aumentar a eficiência da hidrólise enzimática da biomassa lignocelulósica, via enzimas celulolíticas e hemicelulolíticas, respectivamente, como as celulases e as xilanases (FARINAS, 2011). Essas enzimas também têm sido usadas no clareamento do papel, em alternativa mais sustentável em relação aos tradicionais métodos químicos baseados em cloro. Outra aplicação enzimática na indústria de papel e celulose está na utilização de esterases para a remoção de colas e adesivos, passo importante no processo de reciclagem (MONTEIRO; DO NASCIMENTO SILVA, 2009).

A ação sobre o material celulósico é uma importante aplicação da atividade enzimática na indústria têxtil. Mas, o uso desses biocatalizadores nesse setor produtivo vai bem mais além. A utilização das enzimas tem sido uma forma de amenizar as condições químicas severas com a intenção de minimizar os impactos nas fibras e, principalmente, reduzir os poluentes no meio ambiente. Algumas dessas aplicações incluem: a remoção de amido, branqueamento, degradação de lignina, acabamento de lã e a descoloração de corantes (ESSAYS, 2018). As enzimas mais utilizadas em etapas que envolvem o beneficiamento têxtil (Figura 30) são: amilases, celulases, pectinases, proteases, catalases, lacases e peroxidases (PEREIRA, 2009).

Figura 30: Exemplos da utilização de diferentes tipos de enzimas nas etapas do processo têxtil.



Fonte: Ferreira, 2012.

A biocatálise também tem sido empregada dentro de processos sintéticos de fabricação de polímeros, tanto os naturais quanto os sintéticos. Uma das maiores vantagens do uso de enzimas na síntese do nylon é reduzir a temperatura do processo e prevenir as reações indesejadas provenientes da degradação térmica. As abordagens para a síntese enzimática de poliamidas envolvem o uso de, principalmente, proteases, lipases ou esterases. A lipase de pâncreas suíno é apontada por muitos autores como a mais eficiente para esta síntese (ALBUQUERQUE, et al., 2014).

As enzimas também podem atuar, de forma isolada ou associadamente a consórcios microbianos, para catalisar a hidrólise de ligações éster em polímeros de origem fóssil, incluindo aqueles de grande importância industrial, como poliuretanos e poliésteres. Por exemplo, a degradação enzimática de poliésteres é catalisada por enzimas hidrolíticas, principalmente esterases, lipases e proteases, glicosidases e fosfatases (COSTA et al., 2015). Esses biocatalisadores podem promover a oxidação de grupos funcionais, tornando polímeros sintéticos mais hidrofílicos, e dessa forma mais sujeitos à degradação microbiana. Outros parâmetros também influenciam a degradação dos materiais sintéticos, pelo mesmo mecanismo de reações de hidrólise ou oxidação, que podem ocorrer na cadeia central ou na cadeia lateral dos polímeros, como: cristalinidade, orientação e morfologia (ALBUQUERQUE, et al., 2014).

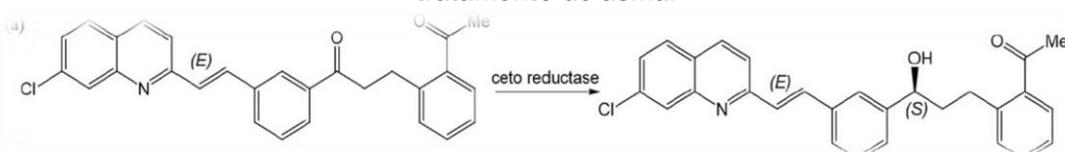
Os exemplos indicados ao longo do texto ilustram que um apelo à utilização das enzimas nos processos produtivos se relaciona à questão ambiental. Diferentes ações dentro desse contexto têm sido voltadas a necessidades planetárias, entre as quais se insere o forte interesse propagado nos últimos tempos quanto à estabilização da abundância atmosférica de CO₂ e outros gases de efeito estufa, para mitigar os riscos do aquecimento global (DE JESUS et al., 2021). Uma das estratégias de redução de emissões de dióxido de carbono nessa direção é a captura e sequestro de CO₂ atmosférico, utilizando sistemas com a anidrase carbônica. Essa é uma

metaloenzima, conhecida por catalisar a hidratação reversível do CO₂ em bicarbonato e pode ser encontrada em diferentes organismos, uma vez que desempenha papel fundamental em processos biológicos, como fotossíntese e respiração (AMARANTE et al., 2013). Duas fontes potencialmente atrativas dessa enzima possuem grande importância industrial no momento: as algas e cianobactérias (JUSTINA; JUSTINA; SKORONSKI, 2018).

As preocupações com a otimização dos processos produtivos em busca de eficiência e respeito ao meio ambiente tem levado à adoção de biotecnologias com o têm o potencial de impactar benéficamente outras áreas que têm a sociedade como destino. Isso vem ocorrendo com as indústrias de química fina e daquelas que empregam seus produtos, como: fármacos, agroquímicos, flavorizantes e fragrâncias. Em muitos dos processos desses setores, a biocatálise se tornou uma alternativa verde à síntese orgânica tradicional, apresentando algumas vantagens frente aos processos químicos tradicionais. Com isso, houve a possibilidade de implantação de novos processos com: atuação sob condições de operação mais brandas; aplicabilidade sobre moléculas térmica e quimicamente instáveis a altas temperaturas; elevado controle estereo, quimio e regioseletivo; e reduzida geração de subprodutos (TEIXEIRA; MILAGRE, 2018). Essas características se associam a importante uma demanda desses setores, pois, costumeiramente, a obtenção desses produtos necessita da síntese de compostos enantiomericamente puros (MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES, 2007).

Um exemplo de um processo industrial que utiliza biocatálise é a síntese do fármaco montelucaste sódico (Singulair), utilizado para tratamento de asma. Uma ceto redutase altamente seletiva é usada na conversão de uma cetona em álcool conforme apresentado na Figura 31. Essa etapa é essencial para a síntese do fármaco em um processo econômico e ambientalmente amigável, alcançando um rendimento acima de 95% para o enantiômero desejado (FERRREIRA et al., 2022).

Figura 31: Utilização de uma ceto redutase para a síntese de um fármaco utilizado para tratamento de asma.



Fonte: Marzzoco; Torres, 2015

A produção de fármacos é uma das aplicações da tecnologia de enzimas nas áreas da saúde. Na medicina moderna, diversos fármacos são utilizados no tratamento de diversas doenças através de intervenção quimioterapêutica. Nesse sentido, têm sido explorados com sucesso, em uso clínico, os antivirais, os antiparasitários e os antibióticos que atuam por inibição seletiva de enzimas envolvidas em processos vitais nos organismos infecciosos (ZIMMER, 2009). Algumas aplicações clínicas de medicamentos inibidores de enzimas são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Fármacos disponíveis no mercado, que são inibidores enzimáticos.

Composto	Enzima-Alvo	Aplicação Clínica
Acetazolamida	Anidrase carbônica	Glaucoma
Aspirina	Ciclooxigenases	Inflamação, dor, febre
Carbidopa	Dopa decarboxilase	Mal de Parkinson
Fluorouracil	Timidilato sintase	Câncer
Lovastatina	HMG-CoA redutase	Redução de colesterol
Omeprazol	ATPase (sódio e potássio)	Úlceras gástricas
Viagra	Fosfodiesterase	Disfunções eréteis

Fonte: Adaptado de Cardoso, Moraes e Kass (2008).

Outra importante aplicação das enzimas na saúde se direciona aos exames clínicos laboratoriais. As enzimas também podem se constituir em biomarcadores igualmente relevantes no diagnóstico de patologias. A utilidade diagnóstica da medida das enzimas plasmáticas reside no fato que as alterações em suas atividades fornecem indicadores sensíveis de lesão ou proliferação celular (ZIMMER, 2009). Estas modificações ajudam a detectar e, em alguns casos, localizar a lesão tecidual, monitorar o tratamento e o progresso da doença. O Quadro 6 traz algumas aplicações clínicas do diagnóstico enzimático.

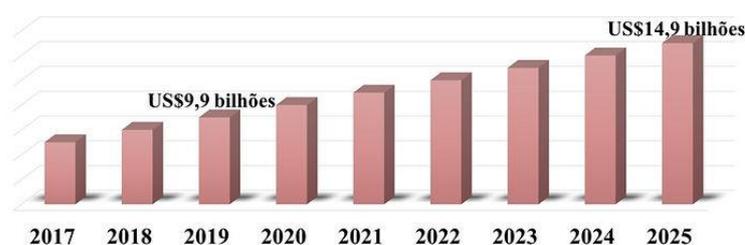
Quadro 6: Aplicações clínicas do diagnóstico enzimático.

<i>Enzima</i>	<i>Principal fonte</i>	<i>Principais aplicações clínicas</i>
Amilase	Glândulas salivares, pâncreas, ovários	Enfermidade pancreática
Aminotransferases (transaminases)	Fígado, músculo esquelético, coração, rim, eritrócitos	Doenças do parênquima hepático, infarto do miocárdio, doença muscular
Antígeno prostático específico	Próstata	Carcinoma de próstata
Creatina quinase	Músculo esquelético, cérebro, coração, músculo liso	Infarto do miocárdio, enfermidades musculares
Fosfatase ácida	Próstata, eritrócitos	Carcinoma da próstata
Fosfatase alcalina	Fígado, osso, mucosa intestinal, placenta, rim	Doenças ósseas, enfermidades hepáticas
γ -Glutamilttransferase	Fígado, rim	Enfermidade hepatobiliar, alcoolismo
Lactato desidrogenase	Coração, fígado, músculo esquelético, eritrócitos, plaquetas, nódulos linfáticos	Infarto do miocárdio, hemólise, doenças do parênquima hepático
Lipase	Pâncreas	Enfermidade pancreática

Fonte: <https://www.biomedicinapadiao.com.br/2011/12/enzimas-de-diagnostico.html>

As diversas aplicações enzimáticas geram uma ampla demanda por essas biomoléculas. Nos últimos anos, o mercado global de enzimas experimentou um crescimento significativo, conforme pode ser verificado no Gráfico 1. Até 2027, esse mercado está projetado para atingir US\$ 16,9 bilhões, impulsionando os investimentos em instalações de produção e lançamento de novos produtos para atender à crescente demanda (NASCIMENTO et al., 2021).

Gráfico 1: Dados do mercado mundial de enzimas.
Mercado de enzimas



Fonte: Nascimento et al. (2021).

A necessidade de suprir as demandas do mercado de enzimas traz muitos desafios. Com isso, cada vez, os setores produtivos precisam investir em pesquisas e desenvolvimentos de processos e de produtos para atender às necessidades por mais e novas enzimas.

2.9 PRODUÇÃO ENZIMÁTICA

A forma mais tradicional de utilizar as enzimas é simplesmente adicioná-las ao processo que ela será usada e, após a ação enzimática, drená-las no efluente. Porém, essa não é a maneira mais economicamente viável, já que o gasto para extração e purificação pode gerar um alto custo (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020). Por esse motivo, métodos complementares podem ser utilizados no processo, como a imobilização enzimática, que contribui com uma maior estabilidade de temperatura, pH, propriedades cinéticas e até no uso de auxiliares (CHAKRABORTY; MADHU, 2017). Independentemente, da forma utilizada, as enzimas precisam estar disponíveis e acessíveis para que possam ser incorporadas aos diferentes processos.

A maior parte das enzimas é intracelular, pois, conforme destacado em tópico anterior, metabolicamente, são sintetizadas nas células de forma contínua. No entanto, quase todas as enzimas preparadas em escala industrial são extracelulares, uma vez que seu isolamento dos meios ou caldos de cultivo geralmente é mais simples, apesar de se encontrarem sob forma muito diluída nesses meios, motivo pelo qual o seu isolamento pode tornar muito dispendioso (ORLANDELLI, 2012).

As enzimas comercializadas podem ser provenientes de fontes variadas: protozoários, plantas, animais e microrganismos. As enzimas de origem vegetal podem estar presentes em maior concentração em látex, frutos, folhas ou sementes. No entanto, os vegetais têm sua limitação como fonte enzimática, pois, geralmente, pouca enzima pode ser extraída de uma grande fitomassa. Por isso, obter enzimas de fontes vegetais geralmente é economicamente viável somente em locais onde o manejo agrícola tem custos menores. Esses aspectos resultam em fortes limitações e somente poucas as enzimas podem ser obtidas nessas condições (FARINAS, 2011). Apesar disso, há exemplos bem-sucedidos do uso de vegetais como fonte de enzimas, como: a papaína, extraída do látex de mamão (*Carica papaya* L.); a bromelina, do caule da planta do abacaxi (*Ananas comosu*), a peroxidase, da raiz forte (*Azorella rusticana* L.); o agave; a α -amilase e β -amilase de cevada germinada; e a lipoxigenase de farinha de soja (MIRANDA; LOFFREDO, 2005). A α -amilase e a β -amilase são muito utilizadas no processo de produção de malte de cevada, utilizado para produção de cerveja e uísque (FARINAS, 2011). As enzimas proteolíticas respondem por aproximadamente 60% das enzimas comercializadas, incluindo proteases microbianas, porém a papaína tem a supremacia no mercado (MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES, 2007).

As enzimas de origem vegetal provêm de uma matriz que possui parede celular e podem ser extraídas em moinhos convencionais (FARINAS, 2011). Esse processo difere do das enzimas provenientes das células animais, que por não possuírem parede celular, podem ser extraídas com solução aquosa ou tampão (ALBERTS et al., 2011).

Enzimas de glândulas e órgãos animais também tem produção limitada, uma vez que são obtidas de subprodutos da industrialização de carnes. Portanto, além de dispendiosa, sua oferta geralmente é escassa (PARK, 2007). No entanto, as enzimas de fontes animais possuem grande importância comercial e industrial. As enzimas de origem animal são aplicadas principalmente nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Aquelas aprovadas para utilização pela indústria de alimentos são: α -amilases, catalase, quimosina, lactoperoxidases, lipases, lisozima, pepsina (bovina, suína e aves), fosfolipase A2 e tripsina (FANI, 2016).

As enzimas de origem animal são obtidas a partir abomaso (quarto estômago) de pâncreas, estômago ou fígado de bezerros, suínos, cabras, ovelhas e/ou frangos (MUSSATTO; FERNANDES; MILAGRES, 200). De uma maneira simplificada, os processos de obtenção a partir dessas matrizes ocorrem por maceração dos tecidos, seguido de homogeneização e extração utilizando água destilada ou solução tampão, e concentração adequada, para posterior separação sólido-líquido para a remoção de resíduos insolúveis (BRUCE *et al.*, 2011).

As enzimas obtidas de fontes vegetais e animais continuam sendo amplamente empregadas na indústria. No entanto, a maior parte das enzimas comercializadas vem de microrganismos. O interesse na obtenção de enzimas microbianas por meio de processos fermentativos vem se destacando por diferentes aspectos, pois esse processo: i) não sofre influência de fatores sazonais; ii) baixo custo, com a possibilidade de utilização de substratos baratos, como os resíduos agroindustriais; iii) da presença de uma taxa de crescimento muito rápida; e iv) rendimento da produção poder ser elevado, por meio da otimização das condições de processo fermentativo, por exemplo, a partir de mutações do microrganismo ou da tecnologia de DNA recombinante (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020).

As enzimas produzidas através do cultivo de microrganismos possuem uma produção potencialmente ilimitada, desde que sejam utilizados os agentes microbianos, os substratos, os métodos e as condições do cultivo apropriados. Os microrganismos são bactérias, fungos ou leveduras, que podem conter cada um, mais

de mil enzimas diferentes (NONSEIRO; NASCIMENTO SILVA, 2009). Por este motivo é necessário um longo período de estudos em laboratório, para isolar e selecionar o melhor microrganismo capaz de produzir a enzima desejada com altos rendimentos.

A produção de enzimas pode utilizar técnicas simples ou associadas, envolvendo diferentes etapas, como: homogeneização e centrifugação diferenciada; extração e precipitação fracionada; maceração e precipitação; exsudação, filtração e secagem; produção de crescimento bacteriano; e/ou fermentação (ORLANDELLI, 2012). A escolha do "caldo" do microrganismo e das condições operacionais determinarão o tipo e o rendimento da enzima. O ciclo completo de produção, entre esterilização, fermentação e extração, leva de 2 a 10 dias, e a biomassa resultante da filtração contém os resíduos de microrganismos e matérias-primas, formando um material que pode ser usado como fertilizante natural (SCHMIDELL et al., 2001).

Novas fontes enzimáticas têm sido investigadas no sentido de oferecer ao mercado biotecnológico soluções sustentáveis, com produtos com preços acessíveis com boa estabilidade e seletividade (KIELING, 2002). Uma importante fonte enzimática de interesse industrial é a biomassa de resíduos agrícolas, como o bagaço da cana-de-açúcar e a palha de trigo. Ela pode ser utilizada como matéria-prima para dar origem a produtos químicos finos com aplicações nas indústrias alimentícias, de cosméticos e farmacêuticas, entre outras. Por exemplo, em contato com um material lignocelulósico, como a biomassa de bagaço da cana ou a palha de trigo, a enzima feruloil esterase auxilia a desencadear uma cascata de reações químicas que levam à produção de coniferol, de outros aldeídos e de álcoois aromáticos de alto valor, que também têm aplicações em diversos setores industriais fontes enzimáticas (SANTOS et al., 2012). O coniferol é utilizado para sintetizar vários produtos químicos também de custo elevado, conforme o pinosinol, um agente hipoglicêmico e a sesamina, que possui propriedades anti-hipertensivas, contribui para diminuir os níveis de colesterol e é um precursor de aromas florais (TRAMONTINA et al., 2020).

A engenharia enzimática tem sido um proeminente campo das pesquisas biotecnológicas ao redor do mundo. Ela atua no melhoramento e na criação de enzimas através de modificação genética. O intuito é obter proteínas mutantes com maior estabilidade para atender demandas operacionais mais extremas e/ou capazes de catalisar reações que não ocorrem normalmente na natureza (ARANTES, 2008). Nesse sentido, aumentou o uso de ferramentas avançadas de bioinformática, permitindo que dados brutos obtidos na metagenômica sejam transformados em

informações úteis para uso e aplicação industrial destas enzimas (TEIXEIRA; MILAGRE, 2020).

Este tópico permitiu que se tenha uma visão ampla sobre características e aplicações enzimáticas. Essa abordagem ressalta a importância dessas moléculas para os sistemas biológicos e de suas relações científicas, tecnológicas e sociais em diferentes segmentos da atividade humana, e de implicações ambientais. Tais aspectos contribuem para reafirmar a necessidade da manutenção das enzimas como um componente curricular necessário à química do ensino médio. Ao mesmo tempo, essa abordagem permite que sejam evidenciadas diferentes possibilidades de abordagens desse conteúdo na escola. Investigar como tal objeto tem sido tratado é um desafio para as pesquisas em educação em ciências.

2.10 A INVESTIGAÇÃO SOBRE O CONHECIMENTO PRODUZIDO NA EDUCAÇÃO QUÍMICA: UMA POSSIBILIDADE PARA CONTRIBUIR PARA O ENSINO DE ENZIMA NA ESCOLA

“Estado da Arte” e “Estado do Conhecimento” são denominações utilizadas no meio acadêmico para nomear levantamentos sistemáticos ou balanço sobre algum conhecimento, produzido ao longo de um determinado período, em uma área de abrangência (SILVA; SOUZA; VASCONCELOS, 2020). No Brasil, apesar de não ser consensual, as terminologias “Estado da Arte” e “Estado do Conhecimento” têm sido utilizadas como sinônimo em diferentes pesquisas, em variadas áreas. Com destaque Silva, Souza e Vasconcelos (2020): “Os pesquisadores que decidem fazer um Estado da Arte ou Estado do Conhecimento têm em comum o objetivo de “olhar para trás”, rever caminhos percorridos, portanto possíveis de serem mais uma vez visitados por novas pesquisas, de modo a favorecer a sistematização, a organização e o acesso às produções científicas e à democratização do conhecimento”.

Essas pesquisas apresentam caráter bibliográfico e se desenvolvem em torno de um objetivo contendo o desafio de mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento (FERREIRA, 2002). Elas procuram trazer respostas para quais aspectos e dimensões vêm sendo enfatizados em diferentes épocas e lugares, de que formas e em que condições têm sido produzidas certas produções acadêmicas, como teses de doutorado, dissertações de mestrado, publicações em periódicos e comunicações em eventos científicos. No entanto, para estabelecer a diferença entre os termos utilizados nesse tipo de

levantamento e análise, Soares e Maciel (2000) defendem que o “Estado do Conhecimento” é uma metodologia mais restrita, definindo-a como um estudo que aborda apenas um setor das publicações sobre um determinado tema.

Soares (1989) discute que compreender o estado de conhecimento sobre um tema, em determinado momento, é um procedimento necessário no processo de evolução da ciência. A sistematização da periodicidade do conjunto de informações e resultados já obtidos pode contribuir para indicar possibilidades de integração entre diferentes perspectivas, aparentemente autônomas, a identificação de duplicações ou contradições, e a determinação de lacunas e vieses. Em direção similar, Brzezinski (2013) afirma que os estudos do tipo estado da arte podem desempenhar diferentes papéis, concentrados em dois vieses. Um deles se refere a revelar: i) a riqueza e variedade de aportes teóricos; ii) a complexidade dos novos desenhos de pesquisa sobre a temática; iii) a diversidade de metodologias, procedimentos e resultados que constituem em contribuições valiosas para avanço do campo investigado. No outro viés, tais estudos podem demonstrar a importância de mapear áreas e temas ainda lacunares na produção.

Bachelard (1972) considera que o objetivo da pesquisa científica é criado pelo pesquisador a partir da experiência, no entanto, para que ela seja transformada em objeto científico, é preciso uma ruptura com o senso comum. Ao discutir sobre esses aspectos nas investigações em ciências sociais, Quivy e Campenhoudt afirmam que o pesquisador necessita colocar em prática

“[...] um dispositivo para elucidação do real, isto é, no seu sentido mais lato, um método de trabalho. Este nunca se apresentará como uma simples soma de técnicas, mas sim [...] um percurso global do espírito que exige ser reinventado para cada trabalho”. (QUIVY, CAMPENHOUDT, 2013, p. 15).

Para conhecer e planejar esse percurso global, é necessário que o pesquisador se aproprie do conhecimento anterior, ou seja, sobre o que vem sendo estudado por determinada área ou campo científico.

A concepção de produção científica é bastante complexa e congrega relações interdisciplinares de conhecimento. Buscando clarear esta complexidade, Stoleroff e Patrício (1995) identificam componentes do trabalho científico: leitura e reflexão; elaboração e coordenação de projetos; realização de investigação; e redação de artigos, relatórios e livros científicos. Uma das possibilidades para se conhecer sistematicamente a realidade da construção do conhecimento científico de um

determinado campo, em um determinado espaço e tempo, é a partir da realização de pesquisa do tipo Estado do Conhecimento (KOHLS-SANTOS; MOROSINI, 2021).

O Estado do Conhecimento é um tipo de pesquisa bibliográfica, baseada, principalmente, em teses, dissertações e artigos científicos, pois neste rol de pesquisas é possível conhecer o que está sendo pesquisado em nível de pós-graduação *stricto sensu* de determinada área, sobre determinado tema (MOROSINI, 2015). De acordo com Morosini e Fernandes (2014, p. 102) o Estado do Conhecimento se refere a “identificação, registro, categorização que levem à reflexão e síntese sobre a produção científica de uma determinada área, em um determinado espaço de tempo”.

O estado de conhecimento auxilia na compreensão de um campo de uma determinada área de conhecimento (BOURDIEU, 2004). Ela possibilita conhecer o que está sendo pesquisado e as abordagens utilizadas por cada área ou temática. Ainda assim, pode ser uma estratégia para ampliar o escopo sobre determinado tema de estudo, sendo uma maneira de também encontrar perspectivas que ainda não foram abordadas, pontos de vista que ainda não foram pensados e que podem ser inovadores para a realização de uma nova pesquisa. a conhecer o estado corrente de determinado tema, auxiliando na escolha ou delimitação de objetivos e temáticas de estudo emergentes sobre uma área ou campo científico.

Morosini (2015) propões que a atividade acadêmica da construção do estado do conhecimento tem os seguintes objetivos: i) conhecer, sistematizar e analisar a produção do campo científico sobre temática; ii) elaborar produção textual para compor a dissertação/ tese; e iii) subsidiar a dissertação e/ou tese, delimitando o tema e ajudando a escolher caminhos metodológicos. De acordo com as concepções tomadas por essa autora, o Estado do Conhecimento vai além da categorização, pois, também são e devem ser realizadas inferências sobre as informações analisadas.

A realização da pesquisa sobre o Estado do Conhecimento necessita de um *design* da pesquisa, que parte da definição do objetivo, e a escolha da metodologia de análise dos dados. Essas pesquisas do tipo estado da arte também são reconhecidas por realizarem uma metodologia de caráter inventariante e descritivo da produção acadêmica e científica sobre o tema que busca investigar (FERREIRA, 2002). Elas são desenvolvidas à luz de categorias e características de cada trabalho e no conjunto deles, sob os quais um determinado fenômeno passa a ser analisado.

Uma investigação sobre o Estado do Conhecimento, como toda a pesquisa, utiliza um objetivo geral como fio condutor. Com base nele, realiza-se para a busca, exploração, seleção, sistematização, categorização, análise e construção do texto final para a construção do estado do conhecimento, que pode ser um artigo científico, um capítulo de livro ou um capítulo para compor uma tese ou dissertação (KOHL-SANTOS; MOROSINI, 2020).

As informações são obtidas pela análise dos títulos, dos resumos e/ou de todo documento investigado. Os títulos dos artigos informam ao leitor de uma revista a existência de tal pesquisa. Conforme prescreve Severino (1976, p. 62): “Todos os títulos (...) devem ser temáticos e expressivos, ou seja, devem dar a idéia a mais exata possível do conteúdo do setor que intitulam”. Assim, normalmente, eles anunciam a informação principal do trabalho ou indicam elementos que caracterizam o seu conteúdo, embora haja títulos em que tal tratamento não seja possível. Por isso, a análise do resumo pode indicar informações mais precisas.

O resumo tem a finalidade de divulgar com mais abrangência os trabalhos produzidos na esfera acadêmica (FERREIRA, 2002). De acordo com Garrido (1993, p. 5),

O crescimento da literatura científica transformou os resumos em instrumentos indispensáveis, na medida em que sua inserção em catálogos e bases de dados agiliza, em muito, a atividade de seleção em busca bibliográfica de todos aqueles que se dedicam ao estudo e à pesquisa. Para que desempenhem este importante papel é necessário, no entanto, que sejam objeto de elaboração cuidadosa.

Sobre esses aspectos, Ferreira (2002) discute que os resumos são diversificados e multifacetados, não só pelas suas peculiaridades, mas também por apresentarem operações de cortes e acréscimos, para selecionar e organizar o material a ser divulgado. Os motivos de tais operações são produtos de escolhas totalmente desconhecidas pelo leitor.

As pesquisas em estado da arte também podem fazer uso da análise do texto completo, pois fica uma sensação de que a leitura a partir apenas dos títulos e dos resumos não lhe dá a ideia do todo, ou seja, do que trata a pesquisa. Com isso, além de mais demorada e minuciosa, a investigação passa a ser mais complexa, por causa da riqueza de detalhes enfrentada pelo pesquisador.

Ferreira (2002) afirma que o pesquisador do “estado da arte” parece ter dois momentos bastante distintos para uma possível organização da produção de certa

área do conhecimento. O primeiro se refere à quantificação e de identificação de dados bibliográficos, com o objetivo de mapear a produção acadêmica em um determinado período. O outro trata do questionamento frente à possibilidade de se inventariar essa produção e de escrever uma história de uma determinada área do conhecimento, aproximando ou diferenciando trabalhos entre si, por meio de tendências, ênfases, escolhas metodológicas e teóricas.

Na perspectiva de Morosini (2015), a constituição do Estado do Conhecimento segue as etapas denominadas: Bibliografia Anotada, Bibliografia Sistematizada e Bibliografia Categorizada, 4. Bibliografia Propositiva. A etapa 4 foi proposta por essa autora a fim de que a metodologia do estado do conhecimento se posicione para além de uma revisão bibliográfica. As descrições de cada etapa são apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7: Propostas de etapas para pesquisas em Estado do Conhecimento.

Etapas	Descrição
1. Bibliografia anotada	Identificação e seleção, a partir da pesquisa por descritores, dos materiais que farão parte do corpus de análise.
2. Bibliografia sistematizada	Leitura flutuante dos resumos dos trabalhos para a seleção e o aprofundamento das pesquisas, a fim de elencar os que farão parte da análise e escrita do estado do conhecimento.
3. Bibliografia categorizada	Reorganização do material selecionado, ou seja, do corpus de análise e reagrupamento destes em categorias temáticas.
4. Bibliografia propositiva	Organização e apresentação de, a partir da análise realizada, proposições presentes nas publicações e propostas emergentes a partir da análise.

Fonte: Kohls-Santos e Morosini (2020).

A primeira etapa das pesquisas em Estado do Conhecimento é denominada **bibliografia anotada** e consiste na identificação e seleção dos materiais que farão parte do *corpus* de análise (etapa 2). Para tanto, é preciso eleger um repositório de publicações. Geralmente, essa fonte envolve trabalhos de teses, dissertações, artigos etc., ou seja, um conjunto de produções organizadas por entidades científicas. Assim, trata-se de um material que tem evidências em relação ao aval qualidade do conteúdo apresentado, pelos critérios de aprovação/publicação, seja na comprovação da obrigatoriedade de apresentação e aprovação por banca ou por pares. Como exemplos dos repositórios de pesquisas brasileiras, tem-se: o Banco de Teses e

Dissertações da CAPES, vinculada à Plataforma Sucupira, (<https://catalogodeteses.capes.gov.br>), em bases de publicações internacionais de resumos e citações de artigos para jornais/revistas acadêmicos em diferentes idiomas, como a Scopus (<https://www.scopus.com/>) e a Web of Science (<https://clarivate.com/webofsciencegroup/>).

Uma categoria temática dos estudos sobre Estado de Conhecimento é a Qualidade Interna dele. Apesar da existência de princípios e formatos diversos de produção científica, (LOVITTS, 2007). No caso específico da revisão de literatura, considerada como um dos principais componentes da produção, a autora apresenta os critérios analíticos para avaliar a revisão de literatura na perspectiva de seleção e tratamento do corpus de análise, ou seja, a abrangência do produzido e a síntese realizada pelo autor.

O passo seguinte à escolha da base de dados para a realização da pesquisa é a definição dos descritores para realização da busca. Os descritores devem ser definidos de acordo com a temática da pesquisa e o objetivo do estudo (GOMES, 1999). Brandau et al., 2005, destacam a diferença entre palavras-chave e descritores. Uma palavra-chave é aleatória e retirada de textos de linguagem livre; não obedece a nenhuma estrutura. Por sua vez, “[...] os descritores são organizados em estruturas hierárquicas, facilitando a pesquisa e a posterior recuperação do artigo” (Brandau et al., 2005, p. 8). Morosini et al. (2021) consideram que palavras-chave são termos simples para definir temas e identificar obras de determinados assuntos; descritores são termos padronizados, definidos por especialistas que servem para definir assuntos e recuperar informações.

O levantamento preliminar dos trabalhos nas bases de pesquisa é realizado pela leitura e análise inicial dos resumos, para posterior aprofundamento, pois, um resumo “[...] tem o objetivo de sumarizar, indicar e predizer, em um parágrafo curto, o conteúdo e a estrutura do texto integral que segue” (MOTTA-ROTH; RENDGERS, 2010, p.153). Conforme reforçam Kohls-Santos e Morosini (2020), a predileção pela leitura e análise dos resumos das produções científicas ocorre por eles apresentarem um arcabouço acadêmico e, de forma sucinta, descreverem o objetivo, a metodologia e os resultados alcançados.

O próximo procedimento envolve a anotação dos trabalhos que versam sobre os critérios de seleção estabelecidos, aqueles estabelecidos nos objetivos do estudo. Esses critérios devem conter os descritores (palavras ou termos de busca), bem como

os pontos de inclusão ou exclusão, por exemplo, o período ou ano de publicação das pesquisas, área de conhecimento, países etc. (KOHLS-SANTOS; MOROSINI, 2020). Com isso, há a definição do *corpus* de análise, ou seja, do conjunto de documentos a serem criteriosamente selecionados. A bibliografia anotada permite reunir dados que oferecem um cenário sobre o material a ser analisado, por exemplo, quantos foram publicados por região, por ano, por programa, quais as palavras-chave mais recorrentes etc.

A matriz da bibliografia anotada contém todos os trabalhos da busca inicial realizada. A segunda etapa para as pesquisas em Estado do Conhecimento, na concepção de Morosino (2015), é a **bibliografia sistematizada**. Após a realização de uma leitura flutuante, procede-se a seleção dos trabalhos, explicitando-se os critérios de inclusão e exclusão.

A etapa da bibliografia sistematizada é o início da seleção mais direcionada e específica para a temática objeto da construção do conhecimento e outros indicadores, de acordo com o objeto de estudo do pesquisador. Realiza-se uma leitura flutuante dos trabalhos que compõe a bibliografia anotada, por meio da leitura dos resumos, para verificar a adequação da publicação ao objetivo do estado do conhecimento proposto. Caso algum dos trabalhos não esteja alinhado ao objetivo proposto no estudo, ele não deve ser inserido na matriz da bibliografia sistematizada. Para facilitar esses registros, sugere-se a utilização de matrizes específicas, como o modelo para organização dos dados proposto por Kohls-Santos e Morosini (2020), cuja adaptação é mostrada no Quadro 8.

Quadro 8: Modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia sistematizada.

Referência completa da publicação					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo

Fonte: Adaptado de Kohls-Santos e Morosini (2020).

A leitura flutuante é entendida no Estado do Conhecimento como a leitura inicial dos trabalhos encontrados na etapa 1 (bibliografia anotada), a fim de se chegar aos trabalhos a serem selecionados, ou seja, no *corpus* de análise (etapa 2, a bibliografia sistematizada). Ela fornece ao pesquisador um panorama do campo em estudo, pois, separam-se aqueles trabalhos que guardam aproximações com o objetivo elencado para realização do estado do conhecimento. Sendo assim, a concepção de leitura

flutuante entendida no Estado do Conhecimento é diferente da proposta por Bardin (2016), que trabalha por analogia com o viés da psicanálise (Mozzato; Grzybovsk, 2011). Normalmente, para Bardin (2016), a leitura flutuante é um primeiro contato com os documentos que serão submetidos à análise, a escolha deles, a formulação das hipóteses e objetivos, a elaboração dos indicadores que orientarão a interpretação e a preparação formal do material. No entanto, na leitura flutuante, considera-se a regra da pertinência, mencionada por Bardin (2011). Desse modo, os documentos selecionados devem ser adequados enquanto fonte de informação, de modo a corresponderem ao objetivo que suscita a análise e estará intimamente ligado ao objetivo do estudo.

Essas duas primeiras etapas - a bibliografia anotada e sistematizada – constituem a fase de exploração do material e são importantes para a etapa de categorização e análise. De acordo com Kohls-Santos e Morosini (2021, p. 135): “[...] se estas duas primeiras etapas forem criteriosamente realizadas, a fase de análise será nada mais, nada menos que a aplicação das decisões tomadas e a estruturação dessas decisões e inferências na forma de texto”.

A terceira etapa das pesquisas em Estado do Conhecimento proposta por Morosini (2015) é a de categorização, denominada de **bibliografia categorizada**. O principal objetivo desta etapa é realizar um “agrupamento”, uma organização dos trabalhos por temáticas, as “categorias”. Porém, a fase de construção das categorias implica não só num reagrupamento, mas também na conceituação da categoria identificada (Morosini et al., 20021).

A matriz construída na etapa da bibliografia sistematizada é utilizada como base para a realização de uma análise um pouco mais aprofundada do conteúdo dos resumos, metodologia, objetivos e resultados das pesquisas selecionadas. As produções são reagrupadas segundo blocos temáticos. Por exemplo: os descritores utilizados na pesquisa inicial, podem ser utilizados como unidades de sentido para compor denominada categoria. Em geral, como se trata de documentos de teses, dissertações e artigos, utiliza-se a Unidade de Registro (BARDIN, 2011), que é a unidade de significação codificada e corresponde ao segmento de conteúdo considerado unidade de base, que visa a categorização. Em pesquisas dessa natureza, pode-se utilizar unidades formais, por exemplo, palavra e palavras-chave, ou ainda o tema, enquanto unidade de sentido. Essa opção metodológica resulta do fato de as pesquisas sobre o estado do conhecimento se voltarem à análise qualitativa

dos dados, apesar de poderem ser realizadas inferências quantitativas, tais como: percentual de publicações por nível; percentual de trabalhos por região administrativa; ou por área do conhecimento.

As unidades de sentido são identificadas utilizando subsídios teóricos e compõem as categorias. Cada categoria precisa ser explicada e explicitada epistemologicamente. Conforme destacam Kohls-Santos e Morosini (2021, p. 137); “[...] na redação do texto do estado do conhecimento a denominação da categoria necessita apresentar o viés teórico ou o preceito epistemológico que a constitui, ou seja, o entendimento adotado na pesquisa para denominar, por exemplo, Contextos Emergentes”. Operacionalmente, os nomes das categorias resultarão de procedimentos analíticos, por exemplo: destacando as palavras/unidades com realce, utilizando ferramentas de marcação (como a aplicação de um recurso colorido sobre o texto); escrevendo ao lado de cada trabalho; ou inserindo um capô (uma linha ou uma coluna) para a escrita das unidades de sentido.

O Quadro 9 exemplifica uma matriz de organização da bibliografia categorizada, adaptado de Kohls-Santos e Morosini (2020). Além dos dados contidos na matriz da bibliografia sistematizada, esse tipo de instrumento possui um campo (pode ser uma coluna ou uma linha) que expresse, por meio de um ou duas palavras, o sentido da unidade, ou seja, o sentido do conteúdo que estará presente.

Quadro 9: Modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia categorizada.

Referência completa da publicação							
Categoria - Temática central da pesquisa + Nome da categoria (Unidades de sentido identificadas anteriormente)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
Ênfase			Conteúdos priorizados		Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo		

Fonte: Adaptado de Kohls-Santos e Morosini (2020).

O procedimento de categorização envolve a leitura mais aprofundada das pesquisas, a fim de encontrar as unidades de registro para compor as categorias. Com isso, o pesquisador passa a conhecer com maior propriedade os assuntos abordados em cada trabalho que faz parte do *corpus* de análise.

Uma pesquisa em Estado do Conhecimento se volta à busca (anotação), sistematização e categorização, ou seja, mapeia-se e analisa-se o que as produções

de uma determinada ordem produziram de forma científica, em um determinado período e território. Porém, ela pode ir além e realizar inferências sobre as informações analisadas, buscando ir mais além da compreensão do campo científico e, em uma perspectiva epistemológica de orientação, buscar o estabelecimento de proposições a partir dos resultados apontados no corpus de análise selecionado. Nesse sentido, realizada a terceira etapa da metodologia do estado do conhecimento, pode-se passar para a quarta etapa, denominada bibliografia propositiva, na qual se refina a análise realizada nas etapas anteriores, utilizando-se como base, principalmente, o material organizado na etapa da bibliografia categorizada.

Uma das possibilidades utilizadas para realizar a análise e inferências é fazer uso dos princípios da análise de conteúdo, proposta por Bardin (2016), pois, para alguns autores, há o entendimento de aproximação entre as duas metodologias. Por isso, a apropriação algumas das etapas os princípios da Análise de Conteúdo proposta por Bardin têm sido utilizados para a análise dos achados desse de pesquisas em Estado do Conhecimento, inclusive com algumas modificações.

A análise de conteúdo procura conhecer o que está por trás das palavras sobre as quais se debruça a análise, pois: “[...] trabalha a palavra, quer dizer, a prática da língua realizada por emissores identificáveis”. (p. 49)

Bardin (2016) concebe a análise documental por apenas a representação condensada da informação. Porém, no entendimento de Kohls-Santos e Morosini (2020) para o Estado do Conhecimento, esta análise vai além dessa representação, uma vez que, utiliza documentos, teses e dissertações, artigos científicos, que contêm em seu construto o viés epistemológico de cada pesquisador, orientador e também é possível se perceber as nuances presentes em pesquisas realizadas, pois, como de acordo com Morosini (2015, p.2): “[...] a produção está inserida no campo científico e, em suas regras constitutivas”. Para essa autora, a construção de uma produção científica está relacionada às influências da instituição na qual está inserida, do país em que vive e de suas relações com a perspectiva global, portanto, não se relaciona somente à pessoa (pesquisador) que a produz.

O Quadro 10 exemplifica um modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia propositiva. Os achados e as proposições do trabalho analisado se relacionam com que é proposto pelos autores do estudo, a partir da análise realizada. Em geral, essas informações são encontradas nos resultados e/ou nas considerações finais.

Quadro 10: Modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia propositiva.

Referência completa da publicação					
Nº	Ano	Categorias	Achados	Proposições do estudo	Proposições emergentes

Fonte: Adaptado de Kohls-Santos e Morosini (2020).

Os “achados” apresentados na organização dos dados da etapa de bibliografia propositiva são as informações selecionadas para explicar e explicitar as pesquisas e de onde sairão os textos que estarão presentes na fundamentação e explanação das inferências no texto final do Estado do Conhecimento. Este conteúdo, na composição do texto final, pode ser utilizado como “citação direta”, quando se utiliza o conteúdo original para expor o trabalho ou como “citação indireta” quando se utiliza da reescrita para apresentar o resultado da análise. Por meio de um “diálogo com os teóricos”, esses registros contribuirão sustentar as inferências e análises no texto final.

Pretende-se também que, além das inferências sobre as pesquisas analisadas, o Estado do Conhecimento apresente “proposições”, se houver. As “proposições do estudo” são aquelas elencadas pelos autores das publicações; as “proposições emergentes” são aquelas que a análise dos trabalhos suscitou. Nesse caso, a intenção obter e analisar possíveis propostas levantadas e/ou sinalizadas pelos autores das teses, dissertações e artigos científicos, tais como: indicadores, ações pontuais, políticas etc. Apesar de nem sempre as pesquisas terem um caráter propositivo, muitas vezes, há recomendações de que sejam apresentadas propostas mais concretas acerca da temática pesquisada, especialmente em pesquisas em nível de doutorado. Já as “proposições emergentes” derivam da realização da pesquisa do Estado do Conhecimento e envolvem as possíveis propostas que o autor da investigação pôde fazer sobre os trabalhos analisados.

As proposições podem ter uma variação, a saber: a partir dos resultados encontrados no corpus de análise verificado, o autor do EC propõe orientações para subsidiar ações e estratégias a serem discutidas (OREAL /UNESCO, 2013). No entanto, não se volta a uma crítica buscando encontrar lacunas na publicação. Trata-se de que ideias foram ou poderiam ser suscitadas a partir das publicações que foram analisadas no EC.

O estado de conhecimento pode ter um caráter quantitativo ou pode vir aprofundado pela abordagem qualitativa (SILVA, 2005). Assim, ela se traduz em

“números”, em informações, a serem classificadas e analisadas, requerendo o uso de recursos e técnicas estatísticas. No entanto, a análise de dados qualitativos é amplamente utilizada na pesquisa, principalmente na área das ciências humanas e sociais. A investigação do estado de conhecimento dentro de um caráter qualitativo é caracterizada por uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, torna-se descritiva e indutiva. Como destaca Morosini (2015), os focos principais de abordagem o processo de pesquisa em si e o seu significado. Esse é um procedimento metodológico que pode ser bastante trabalhoso e, por isso, há softwares desenvolvidos especificamente para auxiliar na organização dos dados e na realização da análise de dados qualitativos.

Realizadas as etapas propostas na metodologia do Estado do Conhecimento, para a escrita do texto final, que pode ser a elaboração de um artigo científico ou um capítulo para compor uma tese ou dissertação, se faz necessário apresentar como foram realizadas cada uma das etapas, ou seja, descrever a composição da pesquisa. Desde a escolha do tema e objetivos do estudo, até a escrita das proposições e considerações. O texto elaborado deve apresentar: i) critérios justificados de inclusão e exclusão da revisão; ii) distinção entre o que tem sido feito na área do que precisa ser feito; iii) localização do tema ou problema na literatura acadêmica como um todo; iv) estabelecimento da pesquisa no contexto histórico do campo de estudo; v) indícios da aquisição e melhora o vocabulário sobre o assunto; vi) articulação de variáveis importantes e fenômenos relevantes para o tema; e vii) síntese e domínio de uma nova perspectiva sobre a literatura. Espera-se que essas características contribuam para demonstrar um avanço do conhecimento sobre determinada área ou temática e uma reflexão mais propositiva sobre o próprio estado corrente do conhecimento.

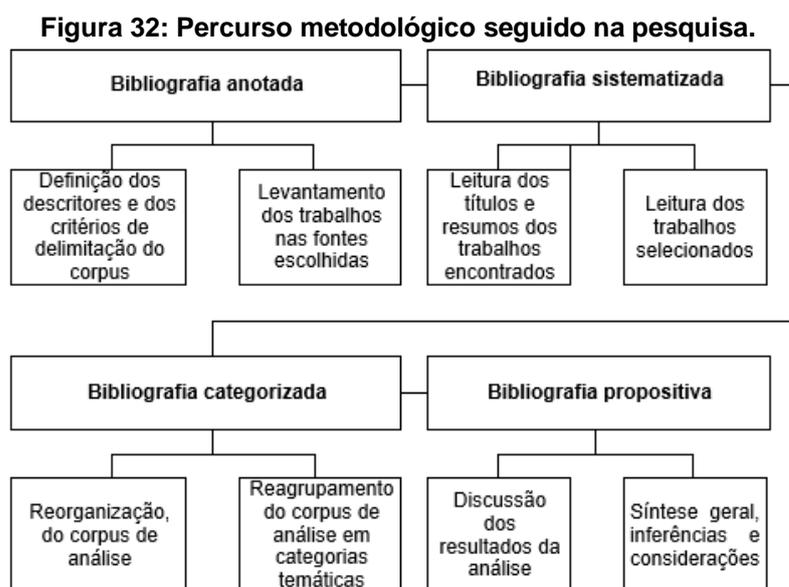
3 METODOLOGIA

Este capítulo traz a metodologia da pesquisa. Após sua caracterização, são detalhados os procedimentos utilizados nas etapas do percurso da investigação.

A pesquisa realizada foi de natureza documental, descritiva e exploratória (GIL, 2007), e se aproxima das investigações do estado do conhecimento. Ela se voltou à descrição e à análise das características sobre o ensino de enzimas disseminadas artigos publicados em periódicos que a comunidade de Educação Química dissemina suas pesquisas e estudos. Para tanto, tomou-se a concepção de Morosini e Fernandes (2014), considerando-se que o estado do conhecimento é um conjunto de ações que envolve identificação, registro e análise de produções científicas, incluindo periódicos.

3.1 PERCURSO ADOTADO NAS ETAPAS DA REALIZAÇÃO DO ESTADO DO CONHECIMENTO

O percurso adotado na realização desse estado do conhecimento foi desenhado em consonância com as etapas estabelecidas na perspectiva de na perspectiva de Morosini (2015), acrescentando-se alguns aspectos propostos por Romanowski e Ens (2006), conforme sintetizados na Figura 32.



Fonte: Elaborado pela autora, com base em Morosini (2015) e Romanowski e Ens (2006).

3.1.1 Bibliografia Anotada

Esta etapa constou da definição dos descritores e dos critérios de delimitação do *corpus*, seguida pelo levantamento dos trabalhos dos periódicos escolhidos, conforme detalhado a seguir.

3.1.1.1 Definição dos Descritores e dos Critérios de Delimitação do Corpus

Escolheu-se como descritores as expressões ensino de enzimas; enzimas; atividade enzimática.

Adotou-se como documentos primários os artigos sobre ensino de enzimas publicados em alguns periódicos com Qualis CAPES, o sistema de classificação de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), nos quais os pesquisadores em Educação Química e de áreas correlatas tradicionalmente divulgam resultados de pesquisas e estudos relacionados aos objetos de conhecimento presentes na disciplina de química escolar. Restringiu-se o conjunto aos periódicos com Qualis CAPES, estrato do quadriênio 2017-2020. Para promover outro recorte, foram utilizados mais dois critérios: a presença de uma periodicidade na circulação dessas publicações no campo acadêmico; e a disponibilização gratuita dos artigos completos e/ou dos resumos, em seus endereços eletrônicos de acesso e de circulação. Com isso, delimitou-se um conjunto de 12 (doze) periódicos, conforme apresentado no Quadro 11.

Esses periódicos são opções utilizadas pela comunidade em Educação Química, por diferentes aspectos, tais como: a diversidade de focos e de linhas editoriais; e as atuais classificações obtidas no Estrato Qualis Ensino. Apesar de serem sem fins lucrativos, em algumas delas, como as editadas pela Sociedade Brasileira de Química, os autores precisam pagar uma taxa para publicação de artigos.

Delimitada as fontes da pesquisa, estabeleceu-se um recorte temporal, para facilitar a investigação, inicialmente a um período de 5 (cinco) anos, retroativos a 2023. No entanto, por causa da carência de trabalhos publicados sobre o ensino de enzimas nesse período, foi necessário expandir o delimitador, abrangendo o intervalo de 2010 a 2023. Assim, dentro do conjunto de periódicos escolhido, analisou-se os artigos publicados sobre o assunto dentro do período dos últimos 13 (treze) anos.

Quadro 11: Conjunto de periódicos nacionais escolhidos para análise.

e-ISSN	Nome do periódico	Foco	Periodicidade	Estrato Qualis Ensino (quadriênio 2017-2020)	Website
1980-850X	Ciência e Educação	Educação em ciências, educação matemática e áreas afins	Fluxo contínuo	A1	https://www.scielo.br/j/ciedu/
1983-2117	Ensaio - Pesquisa em Educação e Ciência	Educação em ciências da natureza e suas interações com ciências humanas e sociais	Fluxo contínuo	A1	https://www.scielo.br/j/epec/
1984-2686	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	Área de Educação em Ciências	Fluxo contínuo	A1	https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec
1518-8795	Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	Ensino/aprendizagem de ciências	Quadrimestral	A2	https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/
2447-6099	Revista Debates em Ensino de Química-REDEQUIM	Ensino de Química e áreas correlatas	Quadrimestral	A3	http://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/index
1982-873X	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia - RBECT	Ensino-aprendizagem de ciências e áreas tecnológicas	Fluxo contínuo	A4	https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect
1982-2413	Experiências em Ensino de Ciências	Ensino de ciências	Anual	B1	https://if.ufmt.br/eenci/
2175-2699	Química Nova na Escola	Pesquisas, reflexões	Trimestral	B1	http://qnesc.sbq.org.br/
1678-7064	Química Nova	Área de química	Fluxo contínuo	B2	https://www.scielo.br/j/qn/
1984-6835	Revista Virtual de Química	Vários domínios da Química.	Bimensal	B3	https://rvq.sbq.org.br/
2318-8790	Revista de Ensino de Bioquímica	Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular e áreas correlatas	Fluxo contínuo	B4	http://bioquimica.org.br/revista/ojs/index.php/REB
1678-4618	Eclética Química Jornal	Todas as áreas da química.	Trimestral	B5	https://www.scielo.br/j/eq/

Fonte: Elaborado pela autora, 2003

Algumas das características dos periódicos selecionados como fonte de pesquisa estão explicitadas no Quadro 12. Elas foram compiladas a partir das informações disponibilizadas dos seus respectivos *websites*.

Quadro 12: Ênfases de publicações dos periódicos selecionados

e-ISSN	Nome do periódico	Tipos de publicações
1980-850X	Ciência e Educação	Publica artigos científicos em acesso aberto sobre resultados de pesquisas empíricas ou teóricas e ensaios originais sobre temas relacionados à educação em ciências, educação matemática e áreas afins.
1983-2117	Ensaio - Pesquisa em Educação e Ciência	Publica artigos nacionais e internacionais que sejam inéditos, de caráter empírico ou teórico, com temas de interesse ao campo da pesquisa em educação em ciências da natureza e suas interlocuções com as ciências sociais e humanas, buscando atender a critérios de rigor acadêmico e de relevância social e educacional.
1984-2686	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	Tem como objetivo disseminar resultados e reflexões advindos de investigações conduzidas na área de Educação em Ciências, com ética e eficiência, de forma a contribuir para a consolidação da área, para a formação de pesquisadores, e para a produção de conhecimentos em Educação em Ciências.
1518-8795	Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	É uma publicação internacional voltada exclusivamente para a pesquisa na área de ensino/aprendizagem de Ciências. Tem como objetivo principal a divulgação aberta de trabalhos relevantes e originais em pesquisa em ensino de Ciências para a comunidade internacional de pesquisadores.
2447-6099	Revista Debates em Ensino de Química- REDEQUIM	É um periódico científico eletrônico pensado para ampliar as possibilidades de divulgação de trabalhos que se constituam como contribuições originais na área de Ensino de Química e eventualmente áreas correlatas.
1982-873X	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia - RBECT	Sua missão é divulgar, no meio acadêmico, pesquisas (práticas e/ou teóricas) que tenham como foco a Educação, especialmente, o processo de ensino-aprendizagem, resultante de uma ação reflexiva, crítica e inovadora para a atuação profissional do docente.
1982-2413	Experiências em Ensino de Ciências	É uma revista eletrônica dedicada exclusivamente ao ensino de ciências. Ela tem se consolidado como uma referência entre os professores e pesquisadores da área de ensino de ciências no Brasil.
2175-2699	Química Nova na Escola	Propõe-se a subsidiar o trabalho, a formação e a atualização da comunidade do Ensino de Química brasileiro. QNEsc é um espaço aberto ao educador, suscitando debates e reflexões sobre o ensino-aprendizagem de química.
1678-7064	Química Nova	Publica artigos com resultados originais de pesquisa, trabalhos de revisão, divulgação de novos métodos ou técnicas, educação e assuntos gerais em português, espanhol e inglês.
1984-6835	Revista Virtual de Química	Visa ser uma fonte de consulta e de divulgação em língua portuguesa ou inglesa para alunos e professores da graduação e pós-graduação de temas referentes a vários domínios da Química.
2318-8790	Revista de Ensino de Bioquímica	Tem o objetivo de divulgar pesquisas em ensino de Bioquímica e Biologia Molecular e áreas correlatas, contribuindo para os avanços científicos, tecnológicos e pedagógicos na área.
1678-4618	Eclética Química Jornal	Publica pesquisas originais como artigos, resenhas e resenhas curtas em todas as áreas da Química.

Fonte: Elaborado pela autora, 2003

3.1.1.2 Levantamento dos Trabalhos nas Fontes Escolhidas

Realizou-se uma pesquisa, via consulta aos *websites* das revistas, por volume publicado, utilizando os descritores elencados. Então, procedeu-se uma seleção preliminar, pela leitura de títulos, palavras-chave e resumos, que resultou em total de 56 artigos. Para cada artigo, esses três registros foram compilados para uma planilha em Excel® (apêndice A).

3.1.2 Bibliografia Sistematizada

Procedeu-se uma leitura flutuante, ou seja, estabeleceu-se um maior contato com os dados e buscou-se uma primeira percepção das mensagens neles contidas. Nesse sentido, atentamente, realizou-se a leitura de todos os títulos e dos resumos dos artigos inicialmente escolhidos, para promover um filtro e selecionar os trabalhos que realmente apresentavam vínculos com o objetivo traçado. A partir dessa leitura foi possível eliminar grande quantidade de artigos que, apesar de se voltarem à temática enzimas, não correspondiam ao objetivo da pesquisa, pois estavam voltados à outra área ou não possuíam foco no ensino de enzimas.

Realizou-se o *download* de cada artigo e as informações coletadas foram armazenadas na matriz de organização dos dados desta etapa (apêndice B). Os artigos foram numerados e essa classificação foi utilizada ao longo das demais etapas. Esse conjunto se configurou como o *corpus* da pesquisa, ou seja, “[...] o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos” (BARDIN, 1977, p. 96).

3.1.3 Bibliografia Categorizada

Esta etapa constou da reorganização do *corpus* de análise, que foi reagrupado em categorias temáticas. Esse procedimento fundamentou-se na Análise de Conteúdo, um método de tratamento e análise de dados qualitativos em que se procura encontrar convergências e incidências de palavras e frases (BARDIN, 2016). Como diferentes autores, conforme Morosini (2015) e Kohls-Santos e Morosini (2020), considera-se a adequação desse método às pesquisas em estado do conhecimento, por se tratar de

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência

de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2011, p. 48).

Dentro da análise de conteúdo, as categorias podem ser definidas a priori ou posteriori (BARDIN, 2010). Nesta pesquisa, a categorização fez-se presente a *posteriori*, uma vez que ela teve de ser construída em torno de um resultado progressivo, ou seja, foi formada após um tratamento e sistematização de elementos (frases e palavras) diante do procedimento analítico.

As produções foram lidas novamente, dessa vez mais profundamente, visando se conhecer com maior propriedade os assuntos abordados em cada trabalho do *corpus* de análise. Os artigos foram reagrupados em blocos temáticos a fim de construir as unidades de registro, a unidade de significação codificada e correspondente ao segmento de conteúdo considerado unidade de base, que visa a categorização (BARDIN, 2011). A busca por repetições de palavras e/ou termos foi a estratégia adotada no processo de codificação para serem criadas as unidades de registro e, posteriormente, categorias de análise iniciais (BARDIN, 2010).

Os nomes das categorias resultaram dos procedimentos analíticos utilizados para destacar as palavras/unidades, realçando-as com ferramentas de marcação, a aplicação de um recurso colorido sobre o texto. Como unidades formais, enquanto unidade de sentido, foram utilizadas palavras e palavras-chave, ou ainda o tema, considerando-se que o tema “é a unidade de significação que se liberta naturalmente de um texto analisado segundo certos critérios relativos à teoria que serve de guia à leitura” (BARDIN, 1977, p. 105). Assim, a unidade de sentido, ou seja, o sentido do conteúdo presente no texto ficou expresso por meio de uma ou duas palavras (unidades de sentido), escrita em uma linha da matriz de organização da bibliografia categorizada (apêndice C).

Com base na recomendação de Morisi et al. (2021), a construção das categorias não implicou somente em um reagrupamento, mas também na conceituação de cada uma delas.

3.1.4 Bibliografia Propositiva

Esta etapa constou de uma análise mais refinada das realizadas nas etapas anteriores, utilizando-se como base o material organizado na etapa da bibliografia categorizada. Das informações encontradas nos resultados e nas considerações finais/conclusões, foram concebidos os achados e as proposições,

tanto as “proposições do estudo” (o que é proposto pelos autores dos artigos - indicadores, ações pontuais, políticas etc.) quanto as “proposições emergentes” (propostas sobre os trabalhos analisados). Esses resultados foram armazenados no modelo para organização dos dados da etapa de bibliografia propositiva (apêndice D). A partir de então, foram elaboradas discussão dos resultados da análise e realizada uma síntese geral, com inferências e considerações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização dos procedimentos da etapa da bibliografia anotada, na consulta aos 12 periódicos-fontes de dados da pesquisa, no período de 2010 a 2023, resultou no levantamento de 522 volumes, contendo um total de 8.303 de artigos. O Quadro 13 apresenta a síntese da análise realizadas nessa etapa.

Quadro 13: Distribuição de artigos envolvendo a temática enzima nos periódicos nacionais investigados.

Quantidade analisada no período de 2010 a 2023				
Periódico		Artigos		
Nome	Volumes	Total	Enzimas	Ensino de enzimas
Experiências em Ensino de Ciências	40	679	2	2
Revista de Ensino de Bioquímica	20	107	5	5
Química Nova	120	2724	26	1
Química Nova na Escola	50	497	2	2
Investigações em ensino de ciência - IENCI	36	467	1	1
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	30	431	1	1
Revista Virtual de Química	70	1216	17	1
Ciência e Educação	40	728	0	0
Eclética Química	33	277	2	0
Revista Debates em Ensino de Química-REDEQUIM	19	241	0	0
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia - RBECT	37	522	0	0
Ensaio Pesquisa em Educação e Ciência	27	414	0	0
Total	522	8303	56	13

Fonte: elaborada pela autora, 2023.

A leitura e a análise de todos os títulos, das palavras-chave e dos resumos dos periódicos, resultaram na seleção dos trabalhos que apresentavam vínculos com a temática enzimas, totalizando 56 artigos, distribuídos em 8 periódicos, ou seja 66,67%. Esses artigos estão assim distribuídos: 26 na Química Nova; 17 na Revista Virtual de Química; 5 na Revista de Ensino de Bioquímica; 2 na Química Nova na Escola; 2 na Eclética Química Jornal; 2 na Experiências em Ensino de Ciências; 1 na Investigações em ensino de ciência (IENCI); e 1 na Revista Brasileira de Pesquisa em

Educação em Ciências. Desse modo, as maiores distribuições de artigos referentes à temática enzima ocorrem nas revistas Química Nova e Revista Virtual de Química, respectivamente. Por outro lado, dentro do período investigado, não foram encontrados artigos com essa temática nas demais revistas: Ensaio Pesquisa em Educação e Ciência; Ciência e Educação; Revista Debates em Ensino de Química- REDEQUIM; e Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia – RBECT.

A etapa da bibliografia sistematizada, com a releitura mais detalhada desses 56 artigos, contribuiu para a eliminação de grande quantidade de artigos, resultando na seleção de apenas 13 (treze) artigos com a temática enzima que estão voltados para o ensino-aprendizagem. Os artigos excluídos não correspondiam ao objetivo da pesquisa, pois estavam voltados à outra área ou não possuíam foco no ensino de enzimas, conforme ilustrado pelas informações coletadas de um trabalho excluído na etapa sistematizada e apresentado no Quadro 14. Essa tarefa classificatória exigiu atenção e nem sempre foi simples de ser procedida, principalmente, por causa da ausência de informações e/ou falta de clareza na organização das ideias dentro dos resumos.

Quadro 14: Exemplo de um trabalho excluído na etapa de bibliografia sistematizada, por não possuir o foco no ensino de enzimas.

MENEGHETTI, Simoni Plentz. Comparação entre a sacarificação enzimática e química da hidrólise de biomassa para a produção de bioetanol: uma breve revisão. Revista Virtual de Química , v. 13, n. 1, 2021.				
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave
X	2021	MENEGHETTI, Simoni Plentz	Comparação entre a sacarificação enzimática e química da hidrólise de biomassa para a produção de bioetanol: uma breve revisão	Bioetanol lignocelulósico, hidrólise enzimática, hidrólise ácida
Resumo				
A dependência do petróleo e de demais recursos fósseis levanta preocupações e questionamentos globais, por não serem considerados sustentáveis no ponto de vista econômico e ambiental. A demasiada disponibilidade de material residual agrícola, a crescente necessidade de energia no setor dos transportes e o benefício ambiental, devido à possível redução dos gases de efeito estufa, impulsionaram o desenvolvimento de biocombustíveis líquidos, entre eles o bioetanol de segunda geração. O bioetanol é produzido pela hidrólise de materiais lignocelulósicos, para a obtenção de açúcares que são posteriormente convertidos em álcool por fermentação. Esse processo envolve as etapas de pré-tratamento da biomassa, a sacarificação da celulose, fermentação do hidrolisado e a destilação do álcool. Esse trabalho apresenta e discute as diferentes rotas tecnológicas para a sacarificação da celulose, expondo os contrastes entre a hidrólise enzimática e a realizada por via ácida, abrangendo parâmetros como, condições reacionais, custo, rendimento e aplicabilidade.				

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Os 13 artigos selecionados para o *corpus* da pesquisa estão apresentados no Quadro 15. A numeração indicada nesse quadro também foi mantida na etapa da bibliografia categorizada e da bibliografia propositiva.

Quadro 15: Informações sobre os artigos selecionados para o *corpus* da pesquisa.

N°	Título	Periódico	
		Nome	Ano
1	O Ensino de Enzimas: Uma Abordagem Experimental de Baixo Custo	Revista de Ensino de Bioquímica	2011
2	Redução Enzimática do 4-(Dimetilamino) Benzaldeído com Pedacos de Cenoura (<i>Daucus Carota</i>): Um Experimento Simples na Compreensão da Biocatálise	Química Nova	2012
3	Reflexões sobre Modelos e Representações na Formação de Professores com Foco na Compreensão Conceitual da Catálise Enzimática	Química Nova na Escola	2012
4	Atividades Experimentais Simples para o Entendimento de Conceitos de Cinética Enzimática: <i>Solanum Tuberosum</i> – uma Alternativa Versátil	Química Nova na Escola	2012
5	Aplicação de Enzimas: Propostas para Disciplina Experimental	Revista Virtual de Química	2013
6	Escurecimento Enzimático: Uma Aula Prática	Revista de Ensino de Bioquímica	2014
7	Das Enzimas à Análise Sensorial: Relato de Aula Prática Interdisciplinar	Revista de Ensino de Bioquímica	2014
8	Inibição Enzimática: Uma Proposta de Atividade Experimental	Experiências em Ensino de Ciências	2019
9	Modelagem Tridimensional: Reflexões de Futuros Professores de Química para o Ensino e Aprendizagem da Interação Enzima-Substrato	Investigações em ensino de ciência I(ENCI)	2019
10	O Papel dos Modelos Computacionais e das Analogias na Aprendizagem do Processo de Interação Fármaco-Enzima no Ensino Fundamentado em Modelagem	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	2020
11	Produção de Videoaulas sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática	Revista de Ensino de Bioquímica	2020
12	Análise da Atividade da Enzima Creatina Quinase e da Isoenzima CK-MB – Simulação para Ensino Remoto	Revista de Ensino de Bioquímica	2020
13	Prática Lúdica 'Dna Recombinante' a sua Influência na Percepção e no Conhecimento de Estudantes Sobre Biotecnologia e Enzimas de Restrição	Experiências em Ensino de Ciências	2020

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Portanto, o *corpus* de análise foi constituído por: 5 artigos da Revista de Ensino de Bioquímica; 2 da Química Nova na Escola; 2 da Química Nova; 2 da Experiências em Ensino de Ciências; 1 da Revista Virtual de Química; 1 da Investigações em ensino de ciência (IENCI); 1 da Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; e 1 da Eclética Química. É na Revista de Ensino de Bioquímica onde é encontrada a maior parte dos artigos voltados para o ensino-aprendizagem. Tal constatação pode

ser explicada pelo fato de a revista em específico ter como objetivo principal a divulgação de pesquisas voltadas para o ensino de bioquímica.

As informações armazenadas no Quadro 15 foram utilizadas para construir o Gráfico 2. Ele apresenta um panorama sobre a frequência temporal com a qual o tema ensino de enzimas é abordado nas publicações investigadas.

Gráfico 2: Distribuição dos artigos no conjunto de periódicos investigados, por ano de publicação.



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

A baixa incidência de artigos dentro das publicações ocorre tanto no conjunto de periódicos investigados quanto na distribuição temporal ao longo do período examinado. Nesse sentido, verificam-se lacunas nas frequências, com metade dos anos (seis) sem publicação de artigo envolvendo o ensino de enzimas. Considerando a representatividade dos periódicos na pesquisa educacional, essa baixa ocorrência pode ser vista como indicativo da pouca atenção ainda despertada pela comunidade em Educação Química por essa temática. Esse resultado contribui para a compreensão de que, apesar de estar presente em todo o currículo químico, desde a Educação Básica até a Educação Superior, o ensino de enzimas não é um tema que tem chamado atenção da comunidade em Educação Química, em particular, como acontece com a abordagem de outros conteúdos de biomoléculas na disciplina de Química (FRANCISCO JUNIOR, 2007).

As duas primeiras etapas da metodologia utilizada para investigar o estado do conhecimento do ensino de enzimas - a bibliografia anotada e sistematizada - constituíram-se como uma importante fase de exploração do material. Os resultados

obtidos na coleta e tratamento de dados corroboraram com as proposições de Kohls-Santos e Morosini (2021), indicando que a realização criteriosa dessas duas primeiras etapas contribuiu para que as fases posteriores fossem a aplicação das decisões tomadas e a estruturação dessas decisões e inferências.

O objetivo geral da pesquisa realizada consiste em oferecer uma visão panorâmica de uma parte importante da produção acadêmica brasileira sobre o ensino do conteúdo enzimas, pela análise dos artigos publicados em alguns dos principais periódicos nacionais nos quais a comunidade de Educação Química dissemina os resultados dos seus estudos. As releituras mais aprofundadas dos artigos realizadas na etapa da bibliografia categorizada permitiram conhecer suas abordagens com maior propriedade. O apêndice C contém os resultados do detalhamento efetuado em cada um deles, conforme apresentado na matriz de organização dos dados da etapa categorizada. A partir das convergências e incidências de palavras e frases, derivadas da aplicação de Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), a reorganização do *corpus* de análise reagrupou os 13 artigos em blocos temáticos.

O tratamento de parte desses dados da etapa categorizada (apêndice C) permitiu verificar o nível de ensino aos quais estão destinados e identificar as principais ênfases desses trabalhos: revisão, relato de experiência, proposta de instrumento/atividade didática ou pesquisa educacional. O resultado do conjunto de análise sobre esses aspectos está apresentado no Quadro 16.

Os artigos sobre ensino de enzimas divulgados nesses periódicos são preferencialmente destinados ao ensino superior. Dos 13 trabalhos investigados, 10 ao Ensino Superior, enquanto 4 são voltados ao Ensino Médio e 2 ao Ensino Tecnológico. Como pode ser examinado no quadro, desse conjunto, 3 trabalhos propõem atividades destinadas a mais de um nível de ensino; 2 aos níveis de Ensino Médio e Tecnológico e 1 aos níveis superior, Médio e Tecnológico.

Quadro 16: Informações sobre os artigos selecionados para o *corpus* da pesquisa.

N°	Título	Periódico		Nível	Gênero
		Nome	Ano		
1	O Ensino de Enzimas: Uma Abordagem Experimental de Baixo Custo	Revista de Ensino de Bioquímica	2011	Ensino Médio	Relato de experiência didática.
2	Atividades Experimentais Simples para o Entendimento de Conceitos de Cinética Enzimática: <i>Solanum Tuberosum</i> – uma Alternativa Versátil	Química Nova na Escola	2012	Ensino Médio e Médio Tecnológico	Desenvolvimento de atividade experimental
3	Redução Enzimática do 4-(Dimetilamino) Benzaldeído com Pedacos de Cenoura (<i>Daucus Carota</i>): Um Experimento Simples na Compreensão da Biocatálise	Química Nova	2012	Ensino Superior	Desenvolvimento de atividade experimental.
4	Reflexões sobre Modelos e Representações na Formação de Professores com Foco na Compreensão Conceitual da Catálise Enzimática	Química Nova na Escola	2012	Ensino Superior	Pesquisa Educacional.
5	Aplicação de Enzimas: Propostas para Disciplina Experimental	Revista Virtual de Química	2013	Ensino Superior	Desenvolvimento de atividade experimental.
6	Das Enzimas à Análise Sensorial: Relato de Aula Prática Interdisciplinar	Revista de Ensino de Bioquímica	2014	Ensino Superior	Relato de experiência didática.
7	Escurecimento Enzimático: Uma Aula Prática	Revista de Ensino de Bioquímica	2014	Ensino Médio, Médio Tecnológico e Superior	Desenvolvimento de atividade experimental.
8	Inibição Enzimática: Uma Proposta de Atividade Experimental	Experiências em Ensino de Ciências	2019	Ensino Médio	Desenvolvimento de atividade experimental
9	Modelagem Tridimensional: Reflexões de Futuros Professores de Química para o Ensino e Aprendizagem da Interação Enzima-Substrato	Investigações em ensino de ciência I(ENCI)	2019	Ensino Superior	Pesquisa educacional.
10	O Papel dos Modelos Computacionais e das Analogias na Aprendizagem do Processo de Interação Fármaco-Enzima no Ensino Fundamentado em Modelagem	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	2020	Ensino Superior	Pesquisa Educacional.
11	Produção de Videoaulas sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática	Revista de Ensino de Bioquímica	2020	Ensino Superior	Desenvolvimento de atividade experimental.
12	Análise da Atividade da Enzima Creatina Quinase e da Isoenzima CK-MB – Simulação para Ensino Remoto	Revista de Ensino de Bioquímica	2020	Ensino Superior	Desenvolvimento de atividade experimental.
13	Prática Lúdica 'Dna Recombinante' a sua Influência na Percepção e no Conhecimento de Estudantes Sobre Biotecnologia e Enzimas de Restrição	Experiências em Ensino de Ciências	2020	Ensino Superior	Pesquisa educacional.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Os artigos se enquadraram em três gêneros principais, categorizados em: i) pesquisa educacional; ii) desenvolvimento de atividade educacional experimental; e iii) relato de experiência didática. Essas categorias foram propostas na etapa da bibliografia categorizada tomando como critério principal as considerações de Schnetzler (2002) ao classificar os resumos das Reuniões Anuais da SBQ. Com isso, os 13 trabalhos investigados ficaram assim distribuídos: i) pesquisa educacional: 4 (2, 3, 5 e 7); ii) desenvolvimento de atividade educacional experimental: 7 (1, 4, 6, 9, 11, 12 e 13); e iii) relato de experiência didática: 2 (8 e 10). Portanto, há uma maior ênfase no desenvolvimento de atividades experimentais, notadamente, com direcionamento ao Ensino Superior.

As análises dos documentos na etapa da bibliografia categorizada também versam sobre a tônica de se tentar elucidar outros dois objetivos específicos: os assuntos do conteúdo curricular enzimas priorizados e as possíveis estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para as suas abordagens. Nesse contexto. Por meio de elementos de marcação, destacaram-se recortes dos textos para permitir extrair das comunicações a essência de sua mensagem e codificar o material. Desse modo, selecionaram-se os principais pontos dos artigos, categorizando-os de acordo com o sentido do conteúdo presente no respectivo texto, conforme escrito em uma linha da respectiva matriz de organização (apêndice C).

Os artigos foram agrupados com base nas categorias delimitadas, na etapa da bibliografia categorizada. Eles se relacionam principalmente a dois conjuntos relacionados às seguintes temáticas: i) experimentação envolvendo atividade enzimática (10 artigos); ou ii) modelagem em torno da relação enzima-substrato (3 artigos).

A “experimentação” é a temática principal da maioria dos artigos investigados sobre ensino de enzimas: **1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13**. Essa temática corresponde às estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo enzima, basicamente na “Categoria A - Atividade enzimática”, que abrange o conteúdo curricular presente em 9 artigos; a “Categoria B - Propriedades das enzimas” se relaciona com o outro artigo (**2**). As unidades de sentido para formação dessas duas categorias foram indicadas, respectivamente, por: A) catálise, inibição e inativação; e B) funções das enzimas de restrição.

A “modelagem” é outra temática principal no segundo conjunto sobre ensino de enzimas e está presente nos artigos, sendo eles: **3, 5 e 7**. Esses artigos ficam

agrupados em uma única categoria, “Categoria C – Modelos enzima-substrato”, cujas unidades de sentido foram modelos computacionais com material do cotidiano. O Quadro 17 apresenta uma síntese dessa categorização.

Quadro 17– Síntese da categorização utilizada na etapa da bibliografia categorizada

Temáticas	Categoria	Unidades de sentido
Experimentação envolvendo atividade enzimática	A - Atividade enzimática	Catálise, inibição e inativação
	B - Propriedades	Funções das enzimas
Modelagem em torno da relação enzima-substrato	C – Modelos enzima-substrato	Modelos computacionais Modelos com material do cotidiano

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O apêndice D traz os resultados da etapa de bibliografia propositiva, os achados e as proposições, tanto as elaboradas pelos autores desses artigos quanto aquelas que são frutos do nosso olhar sobre os 13 artigos, a partir das análises dos resultados e das considerações finais/conclusões nesses trabalhos. Conforme já apresentado, os trabalhos se voltam mais à abordagem da atividade enzimática por meio da experimentação. Nesse sentido, a maioria das propostas destacam como seus achados o desenvolvimento e a realização de um experimento didático de fácil execução, de custo baixo, com material do cotidiano e com tempo de execução em torno de 2h para o ensino de catálise enzimática na escola e/ou no Ensino Superior, conforme visto em Novaes et al. (2013), De Azevedo Pinheiro e Pompilho (2011), Clerici et al. (2014). Em alguns casos, a experimentação pôde ser abordada de modo interdisciplinar¹ ou multidisciplinar², como, respectivamente, em De Azevedo Pinheiro e Pompilho (2011) e De Almeida et al. (2014).

A experimentação também foi incorporada para o desenvolvimento de vídeo-aulas voltadas ao ensino virtual, ocorre nos trabalhos de Rein, Teixeira e Figueiredo (2020) e Freire, Gáspari e Bernardes (2020). Esses recursos permitiram a demonstração da atividade enzimática a partir de exemplos de enzimas conhecidas: a amilase salivar, e a enzima creatina quinase.

A maioria dessas abordagens experimentais envolveu a relação enzima-substrato, que foi tratada com maior profundidade nas pesquisas educacionais sobre

¹ Interdisciplinar é uma metodologia que consiste em integrar duas ou mais áreas do conhecimento.

² Multidisciplinar é uma metodologia que tem como proposta a escolha de um tema comum que deve ser estudado ao mesmo tempo pelas diferentes áreas do conhecimento.

modelagem, divulgadas nos três artigos agrupados nessa categoria: Almeida e Kiill (2019), Sangiogo e Zanon (2012) e Martins et al. (2020). Essas pesquisas destacam que analogias de representações, utilizadas em sala de aula e em livros didáticos, a exemplo do modelo chave-fechadura, pouco contribuem para o pensar conceitualmente sobre a atividade enzimática e as interações entre enzima e substrato. Eles também apontam a relevância dos modelos (3D impressos e computacionais) para a aprendizagem da interação enzima-substrato, auxiliando os estudantes a considerarem aspectos químicos e a superarem a ideia da interação enzima-substrato como sendo um processo estático e mecânico.

Os artigos analisados trazem proposições derivadas dos resultados dos estudos/propostas desenvolvidos(as) que podem contribuir para o ensino de enzimas. Os estudos voltados à atividade experimental indicam a viabilidade de desenvolvimento de práticas para utilização em diferentes níveis de ensino – Superior, Médio e Tecnológico – presencial ou remotamente, dentro de disciplinas específicas (como tecnologia enzimática) ou em disciplinas mais básicas que abordem a bioquímica. Assim como visto em Novaes, et al. (2013) e De Azevedo e Pompilho (2011), as atividades enzimáticas práticas podem se constituir em alternativas experimentais econômica e operacionalmente viáveis, adaptáveis às condições das escolas, empregando materiais do cotidiano, baratos e de fácil acesso. Essas atividades também podem ser efetivadas dentro abordagens multidisciplinares e temáticas, como alimentos

Os trabalhos de Almeida e Kiill (2019), Sangiogo e Zanon (2012) e Martins et al. (2020) trazem proposições que se alinham quanto à utilização da modelagem no ensino da atividade enzimática. Nesse sentido, além de auxiliar na compreensão conceitual da catálise enzimática, as modelagens podem favorecer discussões e reflexões sobre o uso dos modelos (impressos, tridimensionais físicos e computacionais), ao longo da formação de futuros professores de Química, para tratar da compreensão da natureza dos modelos na ciência e de suas limitações. Como propõem Sangiogo e Zanon (2012), é importante que a abordagem da atividade enzimática também considere os limites e obstáculos na aprendizagem conceitual, quando se usa recursos instrucionais, para evitar incorrer em simplificações ou deturpações conceituais relacionadas à interpretação de modelos explicativos e suas representações, tais como os envolvidos na compreensão da atividade enzimática. Outro aspecto, destacado por Martins et al. (2020) é que os recursos voltados à

simbologia representacional das enzimas, ou seja, as imagens representativas de estruturas enzimáticas, necessitam ser problematizados e ressignificados. Essa colocação converge com as recomendações de diferentes autores para o ensino de Química, de modo que a dimensão representacional do conhecimento químico participe de uma trama relacional com a dimensão fenomenológica, nos níveis microscópico e fenomenológico.

Diferentes proposições emergiram das análises desses 13 artigos, conforme indicado no apêndice D. A partir das reflexões decorrentes dessas análises, verifica-se que no ensino de enzimas ainda há uma ampla lacuna em relação ao desenvolvimento de material instrutivo, de produtos/instrumentos didáticos e de pesquisas voltadas ao ensino de enzimas para além da atividade químico-enzimática em torno do modelo enzima-substrato/chave-fechadura. Muitos outros aspectos, decorrentes da atividade enzimática, podem ser explorados, como as funções/propriedades, as tipologias/classes, os aspectos históricos e as aplicações, incluindo abordagens sustentáveis em Química Verde.

É importante também que se invista no desenvolvimento de propostas que considerem os processos formativos nos diferentes níveis de ensino de Química, incluindo a formação superior. Nesse sentido, é necessário o estímulo à oferta de momentos formativos que estimulem discussões e reflexões no ensino e na formação de professores, e de outros profissionais, sobre a modelagem computacional com fins didáticos. Em associação a esses aspectos, um campo de interesse e ainda carente de ações é o de ensino não presencial. Por isso, é preciso incentivar o desenvolvimento de estudos e a produção de instrumentos/produtos didáticos sobre o conteúdo enzimas para o ensino virtual, principalmente com os recursos das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação.

Outra proposição emergente da análise realizada é a necessidade de se estimular o desenvolvimento de estratégias que sejam opções à experimentação e à modelagem. Assim como recomendam Silveira e Da Rocha (2016) para as abordagens de Bioquímica na escola, é importante a utilização de metodologias alternativas, abrangendo diferentes estratégias e o desenvolvimento de variados recursos didáticos.

5 CONSIDERAÇÕES

Esta pesquisa permitiu ter uma visão panorâmica de uma parte importante da produção acadêmica brasileira, de 2010 a 2023, sobre o ensino do conteúdo enzimas: os artigos publicados em alguns dos principais periódicos nacionais nos quais a comunidade de Educação Química dissemina os resultados dos seus estudos. Foram encontrados apenas 13 artigos sobre ensino de enzimas, preferencialmente destinados ao Ensino Superior, 10 artigos, enquanto 4 artigos são voltados ao Ensino Médio e 2 ao Ensino Médio Tecnológico. Como pode ser examinado no Quadro 16, desse conjunto, 3 trabalhos propõem atividades destinadas a mais de um nível de ensino: 2 aos níveis de Ensino Médio e Médio Tecnológico e 1 ao Ensino Médio, Médio Tecnológico e Superior.

Os principais gêneros de trabalhos são: i) pesquisa educacional: 4 artigos; ii) desenvolvimento de atividade experimental: 7 artigos, e iii) relato de experiência didática, 2 artigos. A experimentação é a temática principal em 10 dos artigos investigados – 9 em atividade enzimática e 1 em propriedades das enzimas - enquanto a modelagem é a temática nos outros 3 artigos. Os conteúdos abordados são atividade enzimática (catálise), inibição e inativação; funções das enzimas; e modelo enzima-substrato. Nos artigos, há prioridade da relação experimentação + atividade enzimática (9), quando comparada com as demais categorias: modelagem + modelo enzima-substrato (3) e experimentação + propriedades (1).

As atividades com experimentos de baixo custo, tanto voltados para Ensino Superior quanto para Ensino Médio, são as principais estratégias didáticas utilizadas. A modelagem 3D ou computacionais também são utilizadas, assim como videoaulas com experimentos simulados e um jogo didático adaptado. Outras estratégias que enfatizam o ensino de enzimas podem ser abordadas, como as classificações, as funções, as aplicações em indústrias, as propriedades.

Verifica-se através desta pesquisa que temos poucas publicações para o ensino de enzimas voltadas para a educação, pois dentro do período de 13 anos conseguimos obter um quantitativo de 13 artigos com publicações voltadas para o ensino-aprendizagem. Então é importante uma maior dedicação no desenvolvimento de propostas educacionais voltadas para o ensino de enzimas tanto no ensino presencial como no virtual.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, Bruce *et al.* **Fundamentos da Biologia Celular**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- ALBUQUERQUE, Marcos de Campos Cavalcanti de *et al.* Aplicações de enzimas na síntese e na modificação de polímeros. **Química Nova**, v. 37, p. 699-708, 2014.
- ALCÂNTARA, Nayara Rodrigues de e MORAES FILHO, Aroldo Vieira de. Elaboração e utilização de um aplicativo como ferramenta no ensino de bioquímica: carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. **Revista de Ensino de Bioquímica**. São Paulo, v. 13, n. 3, p.54-72, 2015.
- Almeida, J. F., & Kiill, K. B. (2019). Modelagem tridimensional: Reflexões de futuros professores de Química para o ensino e aprendizagem da interação enzima-substrato. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.24, n. 3, p.282–304.
- AMABIS, José Mariano *et al.* **Moderna Plus: ciências da Natureza e suas tecnologias** – Universo e Evolução. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2006.
- AMARANTE, Marina *et al.* Produção da Enzima Anidrase Carbônica e de Ficobiliproteínas pela Microalga Spirulina. **BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 2, n. 3esp, p. 313-316, 2013.
- ANTUNES, L. A. F.; VILELA S. C.; CAMPOS, S.; DUTRA, E. R. P.; MUNCK, A. V., Critérios para escolha de um coagulante. Ha-la biotec: Chr Hansen. Valinhos, n. 82, 4. 2004.
- ARANTES, Guilherme M. Uma perspectiva computacional sobre catálise enzimática. **Química Nova**, v. 31, p. 377-383, 2008.
- ARAÚJO, Cleônia Roberta Melo; SANTOS, VL dos A.; GONSALVES, A. A. Acetilcolinesterase-AChE: uma enzima de interesse farmacológico. *Revista Virtual de Química*, v. 8, n. 6, p. 1818-1834, 2016.
- BACHELARD, G. O novo espírito científico. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1985. 363 p

BARBOSA, J. U., Leal, M. C., Rossi, S. Q., Dias, T. N., Ferreira, K. A., & Oliveira, C. P. De. Analogias para o ensino de bioquímica no nível médio. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(1), 195– 208, 2012.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.

BARREIRO, Eliezer J.; FRAGA, Carlos Alberto Manssour. **Química Medicinal**:- As bases moleculares da ação dos fármacos. Artmed Editora, 2014.

BARROS, Augusto Aragão de *et al.*. **A química dos alimentos**: produtos fermentados e corantes. Coleção Química no cotidiano. v. 4. São Paulo: SBQ, 2010.

BOBBIO, Paulo A. e BOBBIO, Florinda O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001.

BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E. **Biotecnologia Industrial**. V. 1. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

BRASIL, Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC/Semtec, 2020.

BRASIL, Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias - volume 2**. Brasília: MEC/Semtec, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio (PCNEM) - Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio - Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

BRASIL, Ministério da Saúde, Secretaria de atenção à saúde, Departamento de atenção básica. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

Brzezinski, Iria. Estado do Conhecimento Sobre Formação de Profissionais da Educação: teses e dissertações do período 2003-2010. *Indagatio Didactica*, 5(2), 2013.

BRUICE, Paula Yurkanis. **Química Orgânica**. 4 ed. v. 2. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

CAMPELLO, Graciella da Silva. Imobilização de B-galactosidade (LACTOZYM®) em EUPERGIT® C e sua caracterização. 2010. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Escola de Química e Alimentos, 2010.

CANILHA, L.; CARVALHO, W.; SILVA, J.B.A. Biocatalisadores imobilizados: uso de células e enzimas imobilizadas em processos biotecnológicos. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, p.48-58, 2006.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; BEJARANO, Nelson Rui Ribas. A educação química no Brasil. Uma visão através das pesquisas e publicações da área. **Educación Química**, v. 11, n. 1, p. 160-167, 2000.

CARVALHO, J. C. Q. de *et al.*. Algumas concepções de alunos do ensino Médio a respeito das proteínas. **Revista Ciência e Educação**. v. 18. n. 4. (2012).

CASTILHO, Nathalia Aparecida Santos et al. Estudo da interação e clivagem do DNA por compostos de coordenação mono e binucleares. **Tese (doutorado)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Florianópolis, 2020.

CAVALCANTE, José Fernando Mourão et al. Processamento do queijo coalho regional empregando leite pasteurizado e cultura láctica endógena. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 205-214, 2007.

CLERÍCE, Maria *et al.* Escurecimento enzimático: uma aula prática. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, ed. 2, p. 71-90, 2014.

COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato *et al.* **Grupo das carnes e ovos**. In Pirâmide dos alimentos – fundamentos básicos da nutrição / Org. Sonia Tucunduva Philippi. 2. ed. Barueri-SP: Ed. Manole, 2015.

CRUZAT, Vinicius Fernandes; PETRY, Éder Ricardo; TIRAPEGUI, Julio. Glutamina: aspectos bioquímicos, metabólicos, moleculares e suplementação. **Revista Brasileira de medicina do Esporte**, v. 15, p. 392-397, 2009.

COSTA, Carolina Zanon et al. Degradação microbiológica e enzimática de polímeros: uma revisão. **Química Nova**, v. 38, p. 259-267, 2015.

DANTAS, Adriana; VERRUCK, Silvani; PRUDENCIO, Elane Schwinden. **Ciência e tecnologia de leite e produtos lácteos sem lactose**. Ponta Grossa. Atena Editora, 2019.

DE JESUS, Guilherme Augusto Carvalho et al. A biotecnologia como instrumento de sequestro de carbono: bactérias, microalgas e árvores geneticamente modificadas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 246-255, 2021.

DELIZOICOV, Demétrio *et al.* **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 3 ed. São Paulo: Cortez, 2009.

DUNKER, Karin Louise Lenz *et al.* **Grupo do leite, queijo e iogurte**. In Pirâmide dos alimentos – fundamentos básicos da nutrição / Org. Sonia Tucunduva Philippi. 2. ed. Barueri-SP: Ed. Manole, 2015.

FANI, M. Os tipos de enzimas e suas aplicações nos alimentos. **Revista Aditivos & Ingredientes**, p.28-38, São Paulo, 2016.

FARINAS, C. S. **A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação**. Embrapa Instrumentação, São Carlos, São Paulo, 2011.

Ferreira, N. S. de Almeida. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, 79, 2002

FERREIRA, Luanne EM et al. Uma breve revisão sobre a catálise por átomos isolados: conceitos e aplicações. **Química Nova**, v. 45, p. 194-206, 2022.

FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Análise dos trabalhos apresentados nos encontros de debates sobre o ensino de química de 1999 a 2003. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 5 (V ENPEC), 2005, Bauru. Atas... Bauru, 2005.

FRANCISCO JÚNIOR, W. E. Bioquímica no ensino médio?! (de)limitações a partir da análise de alguns livros didáticos de química. *Ciência e Ensino*, v.1, n.2, 2007.

FRANCISCO, Cristiane Andretta; QUEIROZ, Salete Linhares. A produção do conhecimento sobre o ensino de Química nas Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química: uma revisão. *Química Nova*, v. 31, p. 2100-2110, 2008.

_____. Formação de professores de Química: dissertações produzidas em programas de pós-graduação da área 46 da Capes. *In: Encontro Nacional de Ensino de Química*, 15 (XV ENEQ), 2010, Brasília. Atas... Brasília, 2010.

FREIRE, Bruna; GÁSPARI, Paula; BERNARDES, CELENE. Análise Da Atividade Da Enzima Creatina Quinase E Da Isoenzima CK-MB – Simulação Para Ensino Remoto. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v.20, ed.2, p.57-61, 2020. DOI <https://doi.org/10.16923/reb.v20i2.950>.

FRUTON, J. Proteins, enzymes, genes. the interplay of chemistry and biology, New Haven and London, Yale University Press, 1999.

GALLACCI, Marcia; CORDELLINI, Sandra. Introdução ao Sistema Nervoso Autônomo-Neurotransmissão. *In: DELUCIA, Roberto (organizador). Farmacologia Integrada: uso racional de medicamentos*. 6ª ed. São Paulo: Clube de Autores. 2016. 611 p.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIORDANO, Gandhi et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. *Revista ABES*, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GOULART, Thiago Pereira. A aprendizagem de catálise enzimática por meio de casos: proposta para o ensino de química. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

HENRIQUES, Lethícia Ribeiro et al. Bioquímica nas escolas: uma estratégia educacional para o estudo de Ciência no Ensino Médio. *Revista ELO - Diálogos em Extensão*, Volume 05, número 03, 6-17, 2016.

JUSTINA, Marciel Dela; JUSTINA, Mariléia Buss Dela; SKORONSKI, Everton. O uso das enzimas na indústria de laticínios: uma breve revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 3, p. 172-184, 2018.

KIELING, Dirlei Diedrich. Enzimas, aspectos gerais. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002.

KOHLER, Robert E. The enzyme theory and the origin of biochemistry. *Isis*, v.64, n.2, 1973.

LEHNINGER, Albert Lester. **Princípios de Bioquímica**. Editora Blucher, 1997.

LOGUERCIO, R. Mapeando a educação em bioquímica no Brasil. *Ciências e cognição*, 10 (51), 147–155, 2007.

LOPES SILVA, Julia Carolina et al. Licopeno e marcadores metabólicos: uma revisão narrativa. *Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*, v. 15, 2021.

LOPES, Kátia T. de L. et al. Perfil bioquímico sérico de bezerros de origem leiteira aleitados com dietas líquidas alternativas. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 35, p. 27-32, 2015.

LOVITTS, B. E. Making the implicit explicit: creating performance expectations for the dis-sertation. Virginia: Stylus, 2007. 248 p.

MALAJOVICH, Maria Antonia. *Biotechnology*. Axcel Books do Brasil Editora, 2004.

MARZZOCO, Anita e TORRES, Bayardo Baptista. **Bioquímica Básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

MIRANDA, Maria Terêsa Machini; LOFFREDO, Carina. Um marco na bioquímica e na medicina. *Ciência Hoje*, v.36, n.214, p.75-77, 2005.

MONCAYO, A. Chagas Disease: Current epidemiological trends after the interruption of vectorial and transfusional transmission in the Southern Cone countries. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 98, n. 5, p. 577-591, 2003.

MONTEIRO, Valdirene Neves; DO NASCIMENTO SILVA, Roberto. Aplicações industriais da biotecnologia enzimática. **Revista processos químicos**, v. 3, n. 5, p. 9-23, 2009.

MOROSINI, M. C. **Estado de conhecimento e questões do campo científico.** Revista Educação. Santa Maria, v. 40, n. 1, jan./abr. 2015.

MOTTA-ROTH, D.; HENDGES, G. R. **Produção textual na Universidade.** São Paulo: Parábola, 2010

MOZZATO, A. R; GRZYBOVSKI, D. Análise de Conteúdo como Técnica de Análise de Dados Qualitativos no Campo da Administração: Potencial e Desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 15, n. 4, pp. 731-747, jul./ago. 2011.

MURRAY, Robert K *et al.* **Bioquímica ilustrada de Harper.** 29 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

MUSSATTO, S.I.; FERNANDES, M.; MILAGRES, A.M.F. Enzimas - Poderosa ferramenta na indústria. **Ciência Hoje**, 2007.

NELSON, David L. e COX, Michael M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger.** 6 ed. Porto alegre: Artmed, 2014.

OLIVEIRA, Gláucia Maria Moraes. Antiagregantes plaquetários. **Rev SOCERJ, Rio de Janeiro**, v. 14, n. 1, p. 21-27, 2001.

ORLANDELLI, Ravelly Casarotti et al. Enzimas de interesse industrial: produção por fungos e aplicações. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 7, n. 3, 2012.

PALERMO, Jane Rizzo. **Bioquímica da Nutrição.** 2 ed. São Paulo: Atheneu, 2014.

PARK, Y. K, Produção de enzimas industriais de origem animal. **Biotecnologia industrial**, v. 3, p. 363- 366, 2007.

PENNA, Neidi Garcia; HECKTHEUER, Luísa Helena Rychecki. Vinho e saúde: uma revisão. **Infarma**, v. 16, n. 1-2, p. 64-7, 2004.

PEREIRA, Giuliano Elias. Produção de uvas Elaboração e Avaliação Sensorial de vinhos. **Embrapa uva e vinho semi-árido**, 2008.

PÉREZ, Leonardo FM; SILVA, Camila S.; NARDI, Roberto. Tendências na Pesquisa em Ensino de Química no Brasil e na Colômbia: Um estudo a partir da análise de publicações em revistas e anais de eventos. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VI ENPEC)**, 2007.

PRODANOV, Cleber Cristiano e FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale. 2013.

QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van. **Manual de Investigação em Ciências Sociais**. 6. ed. Lisboa: Gradiva, 2013.

REIN, Ana; TEIXEIRA, Filipe; FIGUEIREDO, Bárbara. Produção de Vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 20, ed. 2, p. 43-48, 2020.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo “Estado da Arte”. **Diálogos Educacionais**, v. 6, n. 6, p. 37–50, 2006.

SANTOS, Fernando A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química nova**, v. 35, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, Pricila Kohls; MOROSINI, Marília Costa. O revisitar da metodologia do estado do conhecimento para além de uma revisão bibliográfica – **Revista Panorâmica** – ISSN 2238-9210 - V. 33 – Maio/Ago, 123-145, 2021.

SANTOS, W. e SCHNETZLER, R.P. O que significa ensino de Química para formar o cidadão? **Química Nova na Escola**, n. 4, p. 28-34, 1996.

SCHMIDELL, Willibaldo et al. **Biotecnologia industrial-vol. 2: Engenharia bioquímica**. Editora Blucher, 2001.

SCHNETZLER, Roseli P. A Pesquisa no Ensino de Química e a Importância da Química Nova na Escola. **Química Nova na Escola**, n. 20, p. 49-54, 2004.

_____.A pesquisa em ensino de química no Brasil: conquistas e perspectivas. **Química nova**, v. 25, p. 14-24, 2002.

SILVA, Damiana Beatriz; DE SOUZA, Bruno Rogerio; ANTERO, Romario Victor Pacheco. Produção biotecnológica de produtos de valor agregado utilizando glicerol residual proveniente da síntese de biodiesel. **Evidência**, v. 17, n. 2, p. 63-86, 2017.

SILVA, V. T. da; MENEZES, J. P. C. Avaliação de uma oficina orientada para “Síntese Proteica”: contribuições e possibilidades para o ensino de bioquímica no Ensino Médio. **Revista de Ensino de Bioquímica**, 20(2) 15-29, 2020.

SIMONI, R.D.; HILL, R.H., VAUGHAN, M. Urease, the first crystalline enzyme and the proof that enzymes are proteins: the work of James B. Sumner. The **Journal of Biological Chemistry**. 30;277(35):23e, 2002.

SOARES, M. **Alfabetização no Brasil** – O Estado do conhecimento. Brasília: INEP/MEC. 1989.

SOARES, Thereza Amélia; LINS, Roberto Dias. Ribozimas: nem toda enzima é uma proteína. **Química Nova**, v.18, n.4, p.375-378, 1995.

SOARES, M., MACIEL, F. **Alfabetização** – Série Estado do Conhecimento. Brasília: MEC/INEP. 2000.

STOLEROFF, A.; PATRÍCIO, M.T. **A prática científica**. In: JESUÍNO, J. C. (Org.). A comunidade científica portuguesa nos finais do século XX: comportamentos, atitudes e expectativas. Oeiras: Celta, 1995. p. 13-32.

TEIXEIRA, Iris S.; MILAGRE, Cintia DF. Evolução dirigida de enzimas: pequenas modificações, melhores biocatalisadores. **Química Nova**, v. 43, p. 773-786, 2020.

TONOLLI, Paulo Newton; FRANCO, Fernando Faria; SILVA, Antônio Fernando Gouvêa. A construção histórica do conceito de enzima e sua abordagem em livros didáticos de biologia. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 28, p. 727-744, 2021.

TRAMONTINA, Robson et al. Consolidated production of coniferol and other high-value aromatic alcohols directly from lignocellulosic biomass. **Green chemistry**, v. 22, n. 1, p. 144-152, 2020.

VENTURA, Manuel Mateus; FREITAS, Sonia Maria; FREIRE, Ana Ponces. **Catálise enzimática**: alguns destaques na evolução da enzimologia. In: Bon, Elba Pinto da Silva et al. (org.). Enzimas em biotecnologia: produção, aplicações e mercado. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. p.1-28.

VIDAL, Ribas; PORTUGAL, João. Modos de acção dos herbicidas. **Manual Bayvitis: A fitossanidade da videira**, p. 211-228, 2010.

VIEGAS JR, Cláudio; BOLZANI, Vanderlan da Silva; BARREIRO, Eliezer J. Os produtos naturais e a química medicinal moderna. **Química nova**, v. 29, p. 326-337, 2006.

VIEIRA, Lisvane Paes. Caracterização molecular e bioquímica da prolina desidrogenase de *Trypanosoma cruzi*, um possível alvo terapêutico. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 2010.

VOET, Donald; VOET, Judith G.; PRATT, Charlotte W. **Fundamentos de Bioquímica: A Vida em Nível Molecular**. Artmed Editora, 2014.

ZANON, Lenir; SAGIOGO, Fabio; HAMES, Clarinês. Interações em Espaços de Formação Docente Inicial na Perspectiva da (Re)construção do Currículo Escolar na Modalidade de Situação de Estudo. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 17, ed. 1, p. 21-35, 2012.

ZIMMER, Karine Rigon et al. Enzimas microbianas de uso terapêutico e diagnóstico clínico. **Revista Liberato**, v.10, n.14, p.123-137, 2009.

WISNIAK, Jaime. Anselme Payen. **Educación Química**, v. 16, n. 4 114- 126, 2005.

APÊNDICE A – ARTIGOS SOBRE ENZIMAS ENCONTRADOS NOS PERIÓDICOS INVESTIGADOS.

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>ECLÉTICA QUÍMICA</u>	2010	Santos, M.C. , Tognolli, J.O. Oliveira, O.M.M.F.1*	QUIMIOMETRIA COMO FERRAMENTA ANALITICA PARA DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO DA ENZIMA PEROXIDASE DE SOJA
	2014	Vinícius H. Souzaa, Sabrina M. V. Pachecob*, Américo Cruz Júniorc e Agenor Furigo Júniorc	ESTUDO DA PRODUÇÃO ENZIMÁTICA DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO RESIDUAL

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>EXPERIÊNCIA EM ENSINO DE CIÊNCIA</u>	2019	Taciana Gonçalves da Silva Fernanda Coutinho Retondaro Barbosa	INIBIÇÃO ENZIMÁTICA: UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE EXPERIMENTAL (1)
	2020	Rakel Gomes do Nascimento Neyla Cristiane Rodrigues de Oliveira Francisca Carla Silva de Oliveira Ângela Celis de Almeida Lopes Elmary da Costa Fraga	PRÁTICA LÚDICA 'DNA RECOMBINANTE' E SUA INFLUÊNCIA NA PERCEPÇÃO E NO CONHECIMENTO DE ESTUDANTES SOBRE BIOTECNOLOGIA E ENZIMAS DE RESTRIÇÃO (1)

LEGENDA:

(1) Curso de Ciências Biológicas

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>QUÍMICA NOVA</u>	2010	Cristiano Gautério Schmidt Myriam Salas-Mellado	INFLUÊNCIA DA AÇÃO DAS ENZIMAS ALCALASE E FLAVOURZYME NO GRAU DE HIDRÓLISE DAS PROTEÍNAS DE CARNE DE FRANGO
		Márcio Garcia Severo Kelly de Moraes* Walter Augusto Ruiz	MODIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DA FARINHA DE ARROZ VISANDO A PRODUÇÃO DE AMIDO RESISTENTE
		Claudio Martín Jonsson Hiroshi Aoyama	ALTERAÇÃO DA ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM ORGANISMOS AQUÁTICOS POR POLUENTES DE ORIGEM AGRÍCOLA: UMA ABORDAGEM GERAL E SOBRE A SUSCETIBILIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA
		Thais Lucy Ogeda e Denise F. S. Petri	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSA
	2011	Adriano A. Mendes Pedro C. de Oliveira e Heizir F. de Castro Raquel de L. C. Giordano	APLICAÇÃO DE QUITOSANA COMO SUPORTE PARA A IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMAS DE INTERESSE INDUSTRIAL
		Irquirene de Oliveira Matos e Wendel A. Alves Otaciro R. Nascimento	ATIVIDADE ELETROCATALÍTICA DE SISTEMAS BIOMIMÉTICOS DA ENZIMA CATALASE

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>QUÍMICA NOVA</u>	2012	Álvaro Takeo Omori*, Viviane Barbosa Portas Camila de Souza de Oliveira	REDUÇÃO ENZIMÁTICA DO 4-(DIMETILAMINO)BENZALDEÍDO COM PEDAÇOS DE CENOURA (<i>Daucus carota</i>): UM EXPERIMENTO SIMPLES NA COMPREENSÃO DA BIOCATALISE
		Higor da Cal Valdez, Roberto Salgado Amado, Flávia Carvalho de Souza Eliane D'Elia Eduardo de Castro Vieira	DETERMINAÇÃO DE GLICEROL LIVRE E TOTAL EM AMOSTRAS DE BIODIESEL POR MÉTODO ENZIMÁTICO COM DETECÇÃO COLORIMÉTRICA
		Rosilene A. Prestes* e Denise Milléo Almeida Andersson Barison Luís Antonio Pinheiro Gilvan Wosiacki	CARACTERIZAÇÃO POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DE SUCOS DE MAÇÃ OBTIDOS POR PREPARAÇÕES ENZIMÁTICAS

	Ana Paula Pitarelo, Thiago Alessandre da Silva, Patricio Guillermo Peralta-Zamora Luiz Pereira Ramos	EFEITO DO TEOR DE UMIDADE SOBRE O PRÉ-TRATAMENTO A VAPOR E A HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR
	Everton Luiz de Paulaa,*, Tiago Ferreira Camposb,† Valdir Manob	GLICÓLISE DO POLI(3-HIDROXIBUTIRATO) POR VIA ENZIMÁTICA
2014	Jaquelina Sánchez-Ramírez, José Luis Martínez-Hernández, Elda Patricia Segura-Ceniceros, Juan Carlos Contreras- Esquivel, Miguel Angel Medina-Morales, Cristobál Noé Aguilar y Anna Iliná	INMOVILIZACIÓN DE ENZIMAS LIGNOCELULOLÍTICAS EN NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

QUÍMICA NOVA	2014	Marcos de Campos Cavalcanti de Albuquerquea, Claudia Maria Soares Ribeiroa, Carlos René Klotz Rabeloa, Bernardo Galvão Siqueiraa, Ana Beatriz Abreu Santa Marinhab e Aline Machado de Castroa	APLICAÇÕES DE ENZIMAS NA SÍNTESE E NA MODIFICAÇÃO DE POLÍMEROS
		Caroline da Costa Silva Gonçalves e Anita Jocelyne Marsaioli	MONITORANDO ATIVIDADES ENZIMÁTICAS COM SONDAS FLUOROGÊNICAS
	2015	Carolina Zanon Costaa,b, Marcos de C. C. de Albuquerquea,b, Maria Cristina Brumb e Aline Machado de Castrob,*	DEGRADAÇÃO MICROBIOLÓGICA E ENZIMÁTICA DE POLÍMEROS: UMA REVISÃO
		Leonardo A. Alvesa,b, Luciana M. Bertinia,b, Ayla Márcia C. Bizerraa,c, Marcos Carlos de Mattosa, Francisco José Q. Montea e Telma L. G. Lemosaa,*	<i>Zingiber officinale</i> (GENGIBRE) COMO FONTE ENZIMÁTICA NA REDUÇÃO DE COMPOSTOS CARBONÍLICOS
		Dejane P. C. de Oliveira, Francisco W. P. Ribeiro, Helena Becker, Pedro Lima-Neto e Adriana N. Correia	BIOSSENSOR ELETROQUÍMICO BASEADO NA ENZIMA TIROSINASE PARA A DETERMINAÇÃO DE FENOL EM EFLUENTES
		Maurício Temotheo Tavaresa, Marina Candido Primia, Michelle Carneiro Pollib, Elizabeth Igne Ferreiraa e Roberto Parise- Filhoa,*	INTERAÇÕES FÁRMACO-RECEPTOR: APLICAÇÕES DE TÉCNICAS COMPUTACIONAIS EM AULA PRÁTICA SOBRE A EVOLUÇÃO DOS INIBIDORES DA ENZIMA CONVERSORA DE ANGIOTENSINA
	2017	Renata N. Vilas Bôas, Francisco C. Biaggio*, Domingos S. Giordani e Heizir F. de Castro	SÍNTESE ENZIMÁTICA DO CAPRILATO DE ISOPENTILA UTILIZANDO ÓLEO FÚSEL COMO MATÉRIA-PRIMA
		George Augusto V. de Oliveira* e José Maurício Schneedorf Ferreira da Silva	EQUILÍBRIO QUÍMICO E CINÉTICA ENZIMÁTICA DA INTERAÇÃO DE α-AMILASE COM COMPOSTOS FENÓLICOS ENCONTRADOS EM CERVEJA
		Camila Florencioa, Alberto Colli Badinob e Cristiane Sanchez Farinasa	DESAFIOS RELACIONADOS À PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DAS ENZIMAS CELULOLÍTICAS NA HIDRÓLISE DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
QUÍMICA NOVA	2018	Jumelice dos S. Silvaa,#, Valéria R. dos S. Maltaa, Martha S. R. dos Santos-Rochab, Renata M. R. G. Almeidab, Márcia A. Gomesc, Cecília D. Vicented e Kledson L. Barbosaa	HIDRÓLISE ENZIMÁTICA, FERMENTAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS ATRAVÉS DA COROA DE <i>Ananas comosus</i>

	2020	Izadora L. Furlania, Bruno S. Amaralb, Regina V. Oliveiraa e Quezia B. Cassa	IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA: CONCEITO E EFEITOS NA PROTEÓLISE
		Iris S. Teixeiraa Cintia D. F. Milagrea	EVOLUÇÃO DIRIGIDA DE ENZIMAS: PEQUENAS MODIFICAÇÕES, MELHORES BIOCATALISADORES
	2021	Ana Karolina de Souza Andradea, Luana Andrade Santosa, Edisleide Silva Menezesa, Rafael Ciro Marques Cavalcantea e James Almada da Silvaa	TIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MÉTODO ENZIMÁTICO SEMIQUANTITATIVO SIMPLES E DE BAIXO CUSTO PARA A BUSCA DE INIBIDORES DE CISTEINO PROTEASES
		Daniele C. Menezesa e Geraldo M. de Limab	ASPECTOS GERAIS DA QUÍMICA DOS DITIOCARBAMATOS E DE SEUS COMPLEXOS METÁLICOS E INTERAÇÕES DESSAS ESPÉCIES QUÍMICAS COM IMPORTANTES ENZIMAS – UMA BREVE REVISÃO

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>QUÍMICA NOVA NA ESCOLA</u>	2012	Fábio André Sangiogo e Lenir Basso Zanon	Reflexões sobre Modelos e Representações na Formação de Professores com Foco na Compreensão Conceitual da Catálise Enzimática
	2013	Fábio Junior M. Novaes, Daniel L. M. de Aguiar, Milena B. Barreto e Júlio C. Afonso	Atividades Experimentais Simples para o Entendimento de Conceitos de Cinética Enzimática: Solanum tuberosum – Uma Alternativa Versátil

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
REVISTA BRASILEIRA DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS	2020	Diego Magno Martins Nilmara Braga Mozzer Thais Mara Anastácio Oliveira Melissa Soares Caetano	O Papel dos Modelos Computacionais e das Analogias na Aprendizagem do Processo de Interação Fármaco-Enzima no Ensino Fundamentado em Modelagem

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>UENCI- Investigações em ensino de ciências</u>	2019	Joyce Fernandes Almeida Keila Bossolani Kill	MODELAGEM TRIDIMENSIONAL: REFLEXÕES DE FUTUROS PROFESSORES DE QUÍMICA PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DA INTERAÇÃO ENZIMA-SUBSTRATO

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
Revista de Ensino de Bioquímica	2011	William de Azevedo Pinheiro & Wendel Mattos Pompilho	O ENSINO DE ENZIMAS: UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO
	2014	Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici1*, Rodrigo Henrique Sebastião2, Larissa Conde Oliveira2, Maysa Sales dos Santos2, Ana Lúcia Leite Moraes3, Sílvia Silveira Clareto3	Escurecimento enzimático: uma aula prática
		Durinézio José de Almeida1*, Renata Demario2, Guilherme Barroso3	Das enzimas à análise sensorial: relato de aula prática interdisciplinar
	2020	Ana Luiza de Oliveira Rein1#, Filipe Fiaes Teixeira1#, Bárbara Castro-Pimentel Figueiredo2	Produção de Vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática
		Bruna Franchito Freire1*, Paula Fernandes Gáspari2, Celene Fernandes Bernardes3	Análise da atividade da enzima creatina quinase e da isoenzima CK-MB – Simulação para ensino remoto

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>Revista Virtual de Química- RVQ</u>	2012	Melos, J. L. R.; Echevarria, A.*	Sistemas Enzimáticos de Tripanossomatídeos como Potenciais Alvos Quimioterápicos
	2013	Medeiros, G. A.; Gonçalves, S. B.; Rodrigues, D. S.; Neto, B. A. D.*	Enzimas e Líquidos Iônicos: Uma Combinação Promissora para um Biodiesel Limpo
		Ribeiro, B. D.;* Castro, A. M.; Salgado, A. M.; Coelho, M. A. Z.	Aplicação de Enzimas: Propostas para Disciplina Experimental
	2014	Giacoppo, J. O. S.; Lima, W. E. A.; Kamil, K.; França, T. C. C.; da Cunha, E. F. F.; Ramalho, T. C.*	Guerra Química: Perspectivas no Estudo de Reativadores da Enzima Acetilcolinesterase Inibida por Organofosforados
		França, R. R. F.; Carvalho, A. S.; Branco, F. S. C; Pinto, A. C.; Boechat, N.*	Inibidores Potentes da Enzima Esterol 14 α -desmetilase Contra <i>Trypanosoma cruzi</i>
	2015	Graça, S. J.;* Ferreira, M.	Encapsulação de Biomoléculas em Lipossomos: Aplicações em Biossensores Enzimáticos e Imunossensores
	2016	Boreiko, S.;* Silva, M.; Iulek, J.	Cristalização e Análises dos Dados de Difração de Raios X da Enzima Urocanato Hidratase de <i>Trypanosoma cruzi</i>
		Machado, B. A. S.;* Costa, A. S.; Oliveira, R. S.; Barreto, G. A.; Silva, R. P. D.; Umsza-Guez, M. A.	Efeito da Aplicação de Enzimas Pectinolíticas em Polpa de <i>Spondias tuberosa Arr. Cam.</i>
		Araújo, C. R. M.;* Santos, V. L. dos A.; Gonsalves A. A.	Acetilcolinesterase - AChE: Uma Enzima de Interesse Farmacológico

REVISTA	ANO	AUTOR	TÍTULO
<u>Revista Virtual de Química- RVQ</u>	2018	Gonçalves, C. C. S, Fonseca, F. S. A.*	Reações de Oxidação Catalisadas por Enzimas
	2019	Andrade, T. C. C.;* Bitencourt, W. C.; Bomtempo, F. V. S.; Alves, F. S.; Barbosa, R. S.; Guarda, E. A.	Hidrólise Enzimática de Celulose para Obtenção de Glicose Utilizando Líquido Iônico como Meio Solvente
		Ramos, C. H.; Rolim, T. S.; Souza, T. P.; Moreira, D. L.;* Paumgarten, F. J. R.; De-Oliveira, A. C. A. X.	Efeito de compostos fenólicos encontrados em alimentos sobre a atividade de enzimas da subfamília CYP2C do fígado de ratos avaliado por um novo método validado de cromatografia em fase líquida de alta eficiência
	2020	Rodrigues, M. H. C.; da Costa, A. P. L.; Molfetta, F. A.*	Planejamento de Novos Compostos para a Enzima Gliceraldeído-3-Fosfato Desidrogenase (GAPDH) de <i>Leishmania mexicana</i> a partir de Modelagem Molecular
		Moura, C. V. R.;* Neres, H. L. S.; Moura, E. M.; Muratoric, M. C. S.; Coelho, T. L. S.; Melo, I. E. M. S.	Caracterização Química e Físico-Química do Óleo de Faveleira (<i>Cnidoscopus phyllacanthus</i>) – Uso na Determinação da Atividade Enzimática do Extrato do Fungo <i>Rhizopus sp.</i>
	2021	Costa, B. E. B.; da Cruz, R. S.; Rangel, F. C.; Meneghetti, S. M. P.*	Comparação entre a Hidrólise Química e Enzimática da Biomassa Lignocelulósica para a Produção de Bioetanol: uma Revisão
		Chaves, A. R.;* Pinheiro, T. S.; Pantoja, L. A.; dos Santos, A. S.	Determinação Quimiométrica de Atividades Enzimáticas de Celulases e Xilanase Utilizando Espectroscopia de Infravermelho Próximo: Uma Nova Abordagem
		Viviane A. Porto, Paulo R. S. Correia, Ricardo S. Portob	Síntese e Atividade Antibacteriana de Derivados do 2-Mercaptobenzimidazol: Uma Revisão da Literatura

APÊNDICE B - MATRIZ DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA ETAPA DE BIBLIOGRAFIA SISTEMATIZADA.

DA SILVA, Taciana Gonçalves; BARBOSA, Fernanda Coutinho Retondaro. Inibição enzimática: uma proposta de atividade experimental. Experiências em Ensino de Ciências , v. 14, n. 2, p. 523-530, 2019.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
1	2019	DA SILVA, Taciana Gonçalves; BARBOSA, Fernanda Coutinho Retondaro.	Inibição enzimática ...	Ensino de Ciências; Experimentação;	As enzimas são catalisadores biológicos que favorecem as reações metabólicas e permitem a homeostase dos organismos e por isto compõem um conteúdo muito relevante no ensino de Ciências, pois estão relacionadas ao funcionamento do corpo, aproximando ainda mais o conteúdo teórico à realidade do aluno. Considerando que métodos diferenciados auxiliam neste processo de ensino/aprendizagem, o objetivo deste trabalho é propor uma experiência para demonstrar o mecanismo de inibição enzimática utilizando a faseolamina, proteína extraída do feijão branco (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) e responsável pela inibição da enzima alfa-amilase. Deste modo, uma experiência simples, de baixo custo, que proporcione uma discussão sobre a ação da enzima amilase salivar no processo digestório e como ocorre o processo de inibição se torna muito relevante, considerando que os carboidratos são as maiores fontes de calorías das dietas alimentares e atualmente observa-se aumento no peso corporal da população brasileira e maior prevalência de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT).
DO NASCIMENTO, Raket Gomes et al. Prática lúdica 'DNA recombinante' e sua influência na percepção e no conhecimento de estudantes sobre biotecnologia e enzimas de restrição. Experiências em Ensino de Ciências , v. 15, n. 02, p. 262-282, 2020.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
2	2020	DO NASCIMENTO, Raket Gomes et al.	Prática lúdica 'DNA recombinante'...	DNA recombinante. Ensino-aprendizagem. Ensino superior. Ferramenta didática	A Biotecnologia é uma área de grande relevância para a Ciência, principalmente pela descoberta e desenvolvimento de novos fármacos. No ensino, a dificuldade da abordagem desse tema aliada à falta de recursos didáticos e metodologias apropriadas, têm proporcionado problemas na compreensão e assimilação dos conteúdos relacionados. Nesse sentido, objetivou-se analisar a influência da prática lúdica 'DNA recombinante', na percepção e no conhecimento de estudantes do curso de Ciências Farmacêutica da Universidade Federal do Piauí sobre Biotecnologia e as Enzimas de Restrição (ER). A pesquisa é quali-quantitativa e foi realizada com 34 discentes, sendo 18 da turma A (TA) e 16 da turma B (TB). Para obtenção de dados utilizaram-se questionários semiestruturados (pré-teste e pós-teste). Constatou-se que após a realização da prática 44% dos estudantes da TA e 63% da TB, compreenderam como a ER, conceitose importância. Além disso, 67% dos participantes da TA e 81%

					da TB demonstraram interesse pela Biotecnologia para as Ciências Farmacêuticas, especialmente na produção de medicamentos. Assim, torna-se importante promover o ensino em cursos de formação por meio de atividades lúdicas, que possibilitam o aprendizado de conteúdos complexos de forma interativa e divertida, tornando as aulas mais prazerosas, podendo ser inseridas em todos os níveis de ensino.
--	--	--	--	--	---

ALMEIDA, Joyce Fernandes; KIILL, Keila Bossolani. Modelagem tridimensional: Reflexões de futuros professores de Química para o ensino e aprendizagem da interação enzima-substrato. Investigações em Ensino de Ciências , v. 24, n. 3, p. 282-304, 2019.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
3	2019	ALMEIDA, Joyce Fernandes; KIILL, Keila Bossolani.	Modelagem tridimensional....	Ensino de química; impressão tridimensional; estratégias de aprendizagem	No Ensino de Ciências, a participação de estudantes em atividades de modelagem tridimensional tem sido um tema ainda pouco explorado em termos de pesquisa. Neste contexto, a presente investigação teve como objetivo apresentar e discutir as reflexões de futuros professores de química sobre o processo de modelagem tridimensional como estratégia de ensino e aprendizagem da interação enzima-substrato. Para isso, quinze estudantes de uma turma do 7º período do curso de Licenciatura em Química realizaram uma sequência de etapas da modelagem científica propostas na literatura e adaptadas para a modelagem tridimensional. As informações foram geradas por meio de desenhos, entrevistas, relatos pessoais e diário de pesquisa, seguido da transcrição e análise temática. Os resultados apontam que a participação dos estudantes nas atividades de modelagem tridimensional possibilitou: (i) indícios de aprendizagem significativa da interação enzima-substrato; e (ii) contribuições para a formação docente. Isso no sentido de possibilitar a reflexão sobre as implicações do uso de modelos 3D impressos em suas futuras práticas de ensino. Os apontamentos deste estudo sugerem que o processo de modelagem tridimensional apresentado pode orientar professores e pesquisadores em atividades práticas de construção de conhecimento em sala de aula, sobretudo, podem contribuir para as discussões a respeito da participação de estudantes em atividades de modelagem tridimensional

OMORI, Álvaro Takeo; PORTAS, Viviane Barbosa; OLIVEIRA, Camila de Souza de. Redução enzimática do 4-(dimetilamino) benzaldeído com pedaços de cenoura (<i>Daucus carota</i>): um experimento simples na compreensão da biocatálise. Química Nova , v. 35, p. 435-437, 2012.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo

4		OMORI, Álvaro Takeo;	Redução enzimática do ...	Biocatalysis; reduction of carbonyl compounds; green chemistry	The present paper describes a simple, low-costly and environmentally friendly procedure for reduction of 4-(dimethylamino)benzaldehyde using carrot bits in water. This interdisciplinary experiment can be used to introduce the concepts of biocatalysis and green chemistry to undergraduate students.
---	--	---------------------------	---------------------------	--	---

SANGIOGO, Fábio André; ZANON, Lenir Basso. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. **Química nova na escola**, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
5	2012	SANGIOGO, Fábio André; ZANON, Lenir Basso	Reflexões sobre modelos ...	Modelos e representações, enzimas e catálise enzimática, formação de professores	Nos últimos anos, houve um aumento considerável no uso de figuras e ilustrações em abordagens de conteúdos e conceitos escolares na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT), tanto em livros didáticos (LD) do ensino médio (EM) quanto em salas de aula. Animações também passaram a fazer parte de abordagens nas aulas de CNT. Para além da função instrucional, tais representações consistem em formas de expressão da linguagem constitutiva do pensamento científico a ser mediado na escola, associadas intrinsecamente à natureza e ao lugar das ciências no ensino escolar. Este artigo discute o uso de imagens representativas de estruturas submicroscópicas ² da matéria em abordagens sobre enzimas e catálise enzimática. O ensino que envolve esse conteúdo tem abarcado níveis crescentes de complexidade no EM, principalmente em biologia, com ampliação de compreensões conceituais que requerem noções sobre partículas e interações interpartículas em dimensão submicroscópica. Considerando-se que as abordagens envolvem graus elevados de abstração, discutem-se aspectos importantes de serem compreendidos por parte de professores em formação para o ensino de CNT

NOVAES, Fábio Junior M. et al. Atividades experimentais simples para o entendimento de conceitos de cinética enzimática: solanum tuberosum—uma alternativa versátil. **Química nova na escola**, v. 35, n. 1, p. 27-33, 2013.

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
6	2013	NOVAES, Fábio Junior M. et al.	Atividades experimentais simples....	Batata, cinética químico-enzimática, práticas de química	Alterações em fatores como a concentração de reagentes, temperatura, ativação e inibição catalítica são observadas cotidianamente no escurecimento de legumes, frutas e tubérculos. Todos eles estão relacionados à ação cinética (químico-enzimática) da enzima polifenoloxidase (PFO). O simples armazenamento sob refrigeração é capaz de retardar o fenômeno, assim como outros fatores podem acelerá-lo. Desse modo, a proposta central deste trabalho é fornecer uma aula experimental econômica e operacionalmente viável, em que sejam observadas essas alterações em uma batata

					(Solanum tuberosum L), permitindo um estudo agradável e instigante da cinética enzimática química.
--	--	--	--	--	--

MARTINS, Diego Magno et al. O papel dos modelos computacionais e das analogias na aprendizagem do processo de interação fármaco-enzima no ensino fundamentado em modelagem. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2020; 823-854.

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
7	2020	MARTINS, Diego Magno et al.	O papel dos modelos computacionais ...	Modelos computacionais; analogias; interação fármaco-enzima; ensino fundamentado em modelagem.	Neste trabalho, investigamos os papéis desempenhados pelos modelos computacionais e pelos processos de crítica e elaboração de analogias na compreensão conceitual do processo de interação fármaco-enzima. A investigação ocorreu com licenciandos do quinto período de um curso de Química ao vivenciarem um processo de ensino fundamentado na modelagem. As aulas foram filmadas e os materiais escritos produzidos pelos estudantes recolhidos. A análise desses materiais fundamentou a elaboração de um estudo de caso que nos permitiu evidenciar que a representação do sistema pelos modelos computacionais possibilitou que os estudantes desenvolvessem uma maior compreensão do conceito alvo, devido à visualização da disposição espacial dos átomos em macromoléculas e ao tratamento dinâmico desse tipo de sistema. Essa compreensão foi manifestada, principalmente, nos processos de crítica e criação de analogias. Por isso, realçamos a importância de que os licenciandos tenham experiências que os permitam refletir sobre as potencialidades e as limitações dos diferentes recursos de expressão de modelos ao vivenciarem processos de modelagem durante sua formação. Defendemos também a realização de novas investigações sobre a compreensão dos estudantes acerca da natureza dos modelos computacionais e das analogias nestes processos.

DE AZEVEDO PINHEIRO, William; POMPILHO, Wendel Mattos. O ensino de enzimas: uma abordagem experimental de baixo custo. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2011.

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
----	-----	-----------	--------	----------------	--------

8	2011	DE AZEVEDO PINHEIRO, W.; POMPILHO, W.	O ensino de enzimas...	Enzimas, materiais alternativos, atividade prática, prática pedagógica.	Este trabalho descreve uma atividade prática de Bioquímica, a qual expõe alternativas didáticas que visam facilitar processo ensino/aprendizado dos conceitos associados ao tema Enzimas. O estudo foi realizado em escolas de Ensino Médio da rede pública estadual, na região Noroeste Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. O trabalho consiste no desenvolvimento de uma atividade prática, sobre Enzimas, utilizando materiais alternativos e/ou de baixo custo. O trabalho objetiva, ainda, ser um agente de incentivo ao trabalho em equipes interdisciplinares dentro de uma visão holística multidisciplinar da construção do conhecimento, possível de ser explorada nas Ciências Biológicas e Exatas.
---	------	---------------------------------------	------------------------	---	--

CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva et al. Escurecimento Enzimático: uma aula prática. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 2, p. 71-90, 2014.

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
9	2014	CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva et al.	Escurecimento Enzimático ...	Polifenoloxidase, Escurecimento enzimático, Branqueamento	Este trabalho apresenta uma aula prática sobre o grupo de enzimas polifenoloxidases, que são responsáveis pelo escurecimento enzimático de frutas e hortaliças. As amostras de vegetais passaram pelo processo de inativação enzimática com o uso de reagentes químicos e pelo método de branqueamento com aplicação de calor (fogão convencional e forno de micro-ondas). Após os tratamentos, a eficiência do processo foi avaliada de forma qualitativa verificando-se a atividade da enzima peroxidase pelo teste com guaiacol e após estocagem sob refrigeração ou congelamento. Os resultados práticos obtidos nesta aula permitem trabalhar conhecimentos multidisciplinares na área de ciência dos alimentos, com aplicações práticas no cotidiano.

DE ALMEIDA, Durinézio José; VIEIRA, Renata Léia Demário; DE FREITAS, Guilherme Barroso Langoni. Das enzimas à análise sensorial: relato de aula prática interdisciplinar. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 2, p. 55-70, 2014.

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
10	2014	DE ALMEIDA, Durinézio José et al.	Das enzimas à análise sensorial.	Aula prática, Interdisciplinaridade, Bioquímica.	Em programas acadêmicos de Nutrição, a Bioquímica é uma das disciplinas iniciais, contudo fundamental para o decorrer do aprofundamento no curso. Esta disciplina engloba aulas práticas com o objetivo de melhorar a compreensão e tornar mais eficaz o entendimento do conteúdo, pois são baseadas em observações diretas elucidando reações moleculares das quais tange o ensino da disciplina de Bioquímica. O texto pretende expor a experiência de uma aula prática multidisciplinar como contexto inicial as enzimas e, que abrange noções das disciplinas de Análise Sensorial, Estatística, Biologia Celular e Tecnologias em Nutrição. A experiência mostrou-se frutífera e efetiva demonstrando que a pedagogia da redescoberta é importante em disciplinas em que é exigido um grande nível de abstração dos alunos, como é o caso da Bioquímica.

REIN, Ana Luiza Oliveira; TEIXEIRA, Filipe Fiaes; FIGUEIREDO, Bárbara Castro-Pimentel. Produção de Vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática. Revista de Ensino de Bioquímica , v. 18, n. 2, p. 43-48, 2020.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
11		REIN, Ana Luiza Oliveira; TEIXEIRA, Filipe Fiaes; FIGUEIREDO, Bárbara Castro-Pimentel.	Produção de vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática	Enzimas; aula prática; vídeo-aula	Atualmente, as universidades brasileiras suspenderam suas atividades presenciais para seguir a recomendação de distanciamento social preconizada pela Organização Mundial da Saúde. Desse modo, mesmo que o professor de Bioquímica busque novas alternativas para o ensino remoto da Bioquímica teórica, as aulas práticas não podem ser realizadas. A gravação, edição e produção de uma vídeo-aula sobre uma aula prática foi uma alternativa proposta para que os estudantes possam acompanhar os procedimentos experimentais referentes à aula sobre atividade enzimática. A vídeo-aula produzida está disponível em uma plataforma virtual de compartilhamento de vídeos para que estudantes e professores de Bioquímica possam acessá-la e incorporá-la nos cursos de Bioquímica não presencial. O presente trabalho relata a produção dessa vídeo-aula e sua utilização como um recurso pedagógico em uma aula prática na modalidade remota do ensino de Bioquímica.

FREIRE, Bruna Franchito; GÁSPARI, Paula Fernandes; BERNARDES, Celene Fernandes. Análise da atividade da enzima creatina quinase e da isoenzima CK-MB–Simulação para ensino remoto. Revista de Ensino de Bioquímica , v. 18, n. 2, p. 56-61, 2020.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo
12	2020	FREIRE, Bruna Franchito; GÁSPARI, Paula Fernandes; BERNARDES, Celene Fernandes.	Análise da atividade da enzima ...	Creatina quinase; aula remota; Bioquímica experimental	A análise da enzima creatina quinase (CK) e da isoenzima CK-MB está prevista no plano de ensino da Disciplina de Bioquímica para o curso de Medicina. O intuito é ilustrar o tema de metabolismo energético anaeróbico e relacionar com casos clínicos de alterações do tecido cardíaco e infarto agudo do miocárdio. Com o uso de ferramentas acessíveis, como os programas Paint e PowerPoint, o tema foi desenvolvido de forma remota, utilizando simulações para demonstrar as etapas dos experimentos. O material foi apresentado aos alunos e disponibilizado na forma de vídeo. A apresentação e discussão do tema no formato virtual foi bem aceita pelos alunos, embora tenham relatado a importância das aulas presenciais para a formação médica.

RIBEIRO, Bernardo D. et al. Aplicação de enzimas: propostas para disciplina experimental. Revista Virtual de Química , v. 5, n. 5, p. 787-805, 2013.					
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Palavras-chave	Resumo

13	2013	RIBEIRO, Bernardo D. et al.	Aplicação de enzimas...	Enzimas; hidrólise; biocatálise	Diversos grupos de enzimas das classes das oxidoredutases e hidrolases são aplicados como alternativas limpas em muitos processos nas indústrias de alimentos, detergentes, têxteis e fármacos. O objetivo desse artigo é apresentar novas abordagens para disciplinas experimentais do ensino superior, baseadas em metodologias simples e rápidas, para a aplicação de alguns grupos de enzimas (celulases, hemicelulases, pectinases, proteases, ureases e tirosinases). As práticas são adequadas para serem oferecidas em disciplinas nas áreas de tecnologia enzimática e tecnologia de alimentos, dentre outras.
----	------	-----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---

APÊNDICE C - MATRIZ DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA ETAPA DE BIBLIOGRAFIA CATEGORIZADA.

DA SILVA, Taciana Gonçalves; BARBOSA, Fernanda Coutinho Retondaro. Inibição enzimática: uma proposta de atividade experimental. Experiências em Ensino de Ciências , v. 14, n. 2, p. 523-530, 2019.							
Experimentação + Atividade enzimática (Inibição enzimática)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
1	2019	DA SILVA, Taciana Gonçalves; BARBOSA, Fernanda Coutinho Retondaro.	Inibição enzimática ...	Ensino médio	Proposta de uma atividade experimental, para utilização em sala de aula, para demonstrar o mecanismo de inibição enzimática utilizando a faseolamina, proteína extraída do feijão branco (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) e responsável pela inibição da enzima alfa-amilase.	Utilização de material simples, do cotidiano e de farinha de feijão branco (comercializada em lojas de produtos naturais). Confeção e uso de modelo didático, construído com material alternativo, representando (I) complexo enzima – substrato; (II) enzima, substrato e inibidor; (III) complexo enzima – inibidor	A proposta de uma aula prática sobre o mecanismo de inibição enzimática demonstra a implicidade com que o experimento pode ser reproduzido nas escolas e também proporciona uma abordagem mais ampla do conteúdo sobre enzimas, tal como sua importância para as reações químicas que ocorrem nos seres vivos e, particularmente, para um processo digestório adequado.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental					Inibição enzimática	Experimentação com material e produtos do cotidiano	

DO NASCIMENTO, Raket Gomes et al. Prática lúdica 'DNA recombinante' e sua influência na percepção e no conhecimento de estudantes sobre biotecnologia e enzimas de restrição. Experiências em Ensino de Ciências , v. 15, n. 02, p. 262-282, 2020.							
Experimentação + Propriedades (Funções das enzimas de restrição)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados

2	2020	DO NASCIMENT O, Rakel Gomes et al.	Prática lúdica 'DNA recombinante'...	Ensino superior	<p>Analisar a influência da prática lúdica 'DNA recombinante', na percepção e no conhecimento de estudantes do curso de Ciências Farmacêutica da Universidade Federal do Piauí sobre Biotecnologia e as Enzimas de Restrição (ER)</p>	<p>Pesquisa quali-quantitativa realizada com 34 discentes do Curso de Farmácia, matriculados na disciplina Elementos de Genética e Evolução, na qual são abordados temas em Biotecnologia. Primeiramente, realizou-se uma palestra para cada turma, duração de 2 horas, sobre a tecnologia do DNA recombinante, com orientações sobre a construção da molécula de DNA, destacando a função das ER por meio de aula expositiva teórica dialogada. A seguir, os graduandos responderam a o pré-teste, questionário semiestruturado com questões abertas e fechadas, para avaliar o conhecimento a respeito da temática abordada. Posteriormente, desenvolveu-se uma prática lúdica adaptada do jogo intitulado "DNA recombinante" de Pavan (2002) sobre as ER.</p>	<p>Os discentes demonstraram êxito na realização da atividade 'DNA Recombinante' e, mesmo com dificuldades pontuais, conseguiram entender os assuntos. Além disso, compreenderam conceitos básicos das ER, o papel e importância para a realização de técnicas de Biotecnologia. O estudo mostrou, ainda, que o uso do lúdico é eficiente no ensino superior, pois os envolvidos demonstraram interesse no desenvolvimento da proposta, tornando o momento mais prazeroso. Dessa forma, a execução deste trabalho evidenciou a importância de aliar teoria à prática e defende a ideia da atividade lúdica como recurso no ensino, não só de Biotecnologia, mas em diversas áreas do conhecimento, pois auxilia o professor na abordagem de conteúdos abstratos e permite a vivência da prática, não apenas em laboratórios, ou visitas técnicas, mas em sala de aula. Além disso, deve-se criar, desenvolver e aplicar atividades de natureza lúdica em cursos de formação, em todas as componentes curriculares e níveis da educação.</p>
---	------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------	---	--	---

Gênero	Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo
Pesquisa educacional.	Funções das enzimas de restrição	Atividade com ênfase num jogo didático

OMORI, Álvaro Takeo; PORTAS, Viviane Barbosa; OLIVEIRA, Camila de Souza de. Redução enzimática do 4-(dimetilamino) benzaldeído com pedaços de cenoura (<i>Daucus carota</i>): um experimento simples na compreensão da biocatálise. Química Nova , v. 35, p. 435-437, 2012.							
Experimentação + Atividade enzimática (Biocatálise, material do cotidiano)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
4		OMORI, Álvaro Takeo;	Redução enzimática do ...	Ensino superior	Desenvolvimento de atividade experimental para avaliar qualitativamente a atividade catalítica da cenoura na redução do reagente de Ehrlich (CAS [100-10-7]).	Redução do 4-(dimetilamino)benzaldeído por pedaços de cenoura, em meio aquoso. Detecção através de uma análise de CCD (cromatografia em camada delgada) ou até mesmo através de técnicas espectroscópicas (RMN). Produto isolado através de uma extração líquido-líquido, seguida de uma purificação por cromatografia em coluna.	A redução do 4-(dimetilamino)benzaldeído utilizando pedaços de cenoura levou ao álcool correspondente. No material suplementar, disponível gratuitamente em arquivo PDF em http://quimicanova.s bq.org.br , encontram-se os espectros de ressonância magnética nuclear dos produtos obtidos por via química e por via enzimática e os espectros de massas do reagente e do produto dimerizado.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental.					Catálise enzimática	Reações e técnicas de separação e de identificação de compostos orgânicos.	
NOVAES, Fábio Junior M. et al. Atividades experimentais simples para o entendimento de conceitos de cinética enzimática: <i>Solanum tuberosum</i> – uma alternativa versátil. Química nova na escola , v. 35, n. 1, p. 27-33, 2013.							
Experimentação + Atividade enzimática (Biocatálise, material do cotidiano)							

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
6	2013	NOVAES, Fábio Junior M. et al.	Atividades experimentais simples....	Ensino médio e médio tecnológico	Fornecer uma aula experimental econômica e operacionalmente viável, para um estudo agradável e instigante da cinética enzimática química em uma batata (<i>Solanum tuberosum</i> L),	Proposições de aulas experimentais que foram ministradas após as aulas de cinética química ou enzimática de turmas do 2º ou 3º anos, empregando materiais do cotidiano, baratos e de fácil acesso.	A alteração de alimentos como a batata permite a explicação de conceitos de química nesse processo. A atividade aguçou a inculturação nos estudantes de uma atitude crítica e empreendedora para o saber e mostrou a inter-relação da química com outras áreas do conhecimento humano.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental.					Cinética enzimática	Experimentação	

DE AZEVEDO PINHEIRO, William; POMPILHO, Wendel Mattos. O ensino de enzimas: uma abordagem experimental de baixo custo. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2011.

Experimentação + Atividade enzimática (Biotatálise, material do cotidiano)

Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
8	2011	DE AZEVEDO PINHEIRO, W.; POMPILHO, W.	O ensino de enzimas...	Ensino médio	Realizar uma atividade prática, sobre enzimas, utilizando materiais alternativos e/ou de baixo custo, com estudantes de uma escola pública.	Descrição de material (material alternativo) e métodos para investigação da atividade enzimática da catalase, extraída da batata. Levantamento de concepções prévias sobre enzimas. Leitura de um texto base sobre a catalase. Realização de procedimentos para investigar aspectos que interferem na atividade enzimática.	As práticas experimentais se mostraram boas ferramentas para trabalhar de forma interdisciplinar o ensino de ciências. As práticas propostas neste trabalho apresentam: execução simples e rápida, fácil manuseio, baixo custo, interdisciplinaridade, e, sobremaneira, são adaptáveis às condições das escolas. Além disso, não necessitam de um laboratório e podem ser

							realizadas na própria sala de aula.
Gênero				Conteúdos priorizados		Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Relato de experiência didática.				Atividade enzimática		Experimentação.	

CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva et al. Escurecimento Enzimático: uma aula prática. Revista de Ensino de Bioquímica , v. 12, n. 2, p. 71-90, 2014.							
Experimentação + Atividade enzimática (Inativação enzimática, material do cotidiano)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
9	2014	CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva et al.	Escurecimento Enzimático ...	Ensino médio, tecnológico e superior	Elaborar um roteiro de aula prática para ensino de níveis médio, técnico e superior nas áreas de Biologia, Química, Alimentos (Tecnologia e Ciência de Alimentos, Farmácia, Nutrição, Gastronomia e outros) apresentando e discutindo os processos de inativação	Descrição de material (matérias-primas, vidrarias, reagentes, utensílios e equipamentos), de procedimentos e de métodos (inativação enzimática)	Desenvolvimento e discussão de uma aula prática com os principais conceitos que a envolve, de forma a proporcionar e instigar o pensamento multidisciplinar dos alunos revisar conceitos práticos de Bioquímica, em relação à presença de enzimas em tecidos vegetais, atividade ótima e desnaturação; de Química, em relação à acidez e pH de soluções e técnicas fáceis de preparo de soluções, em relação à Física, sobre os processos de transferência de calor, e à Ciência e Tecnologia de Alimentos, os conceitos de higiene de vegetais, classificação,

							seleção, processos e embalagem.
Gênero				Conteúdos priorizados		Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental.				Inativação enzimática.		Experimentação	

DE ALMEIDA, Durinézio José; VIEIRA, Renata Léia Demário; DE FREITAS, Guilherme Barroso Langoni. Das enzimas à análise sensorial: relato de aula prática interdisciplinar. Revista de Ensino de Bioquímica , v. 12, n. 2, p. 55-70, 2014.							
Experimentação + Atividade enzimática (Biotálise, material do cotidiano)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
10	2014	DE ALMEIDA, Durinézio José et al.	Das enzimas à análise sensorial.	Ensino superior	Expor a experiência de uma aula prática multidisciplinar como contexto inicial as enzimas e, que abrange noções das disciplinas de Análise Sensorial, Estatística, Biologia Celular e Tecnologias em Nutrição.	A prática foi realizada no laboratório de Técnica Dietética da Faculdade, com acadêmicos do 1º período do curso de Nutrição com duração de quatro horas. Houve levantamento sobre o conteúdo após a aula teórica e após a aula prática. Realizou-se teste laboratorial, centrado na ação das enzimas proteolíticas, da família das bromelinas e das papaínas. As enzimas foram extraídas diretamente do fruto do mamoeiro (<i>Carica papaya</i> L.) e da inflorescência do abacaxi (<i>Ananas comosus</i>).	Os experimentos apresentam uma alternativa didática, pois associam métodos laboratoriais a temas cotidianos. Viabilizaram o ensino centrado no "saber bioquímico" contextualizado à proposta específica de formação profissional, desde às disciplinas básicas.
Gênero				Conteúdos priorizados		Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Relato de experiência didática.				Atividade enzimática. Aplicações.		Experimentação.	

RIBEIRO, Bernardo D. et al. Aplicação de enzimas: propostas para disciplina experimental. <i>Revista Virtual de Química</i> , v. 5, n. 5, p. 787-805, 2013.							
Experimentação + Atividade enzimática (Biocatálise, tipologia de enzimas)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
13	2013	RIBEIRO, Bernardo D. et al.	Aplicação de enzimas...	Ensino superior	Apresentar novas abordagens para disciplinas experimentais do ensino superior, baseadas em metodologias simples e rápidas, para a aplicação de alguns grupos de enzimas (celulases, hemicelulases, pectinases, proteases, ureases e tirosinases).	Procedimento experimental para a realização da cinética enzimática dos tipos de enzimas trabalhados, indicando materiais, equipamentos e condições.	As práticas são apontadas como adequadas para serem oferecidas em disciplinas nas áreas de tecnologia enzimática e tecnologia de alimentos, dentre outras. Os experimentos de fácil execução, utilizando materiais de uso cotidiano e de fácil obtenção, como roupas, frutas, verduras legumes. Adicionalmente a essa praticidade, os experimentos são de curta duração, podendo a maioria ser empregados em aulas com período de 2 horas.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental.					Atividade enzimática	Atividade experimental	

REIN, Ana Luiza Oliveira; TEIXEIRA, Filipe Fiaes; FIGUEIREDO, Bárbara Castro-Pimentel. Produção de Vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática. <i>Revista de Ensino de Bioquímica</i> , v. 18, n. 2, p. 43-48, 2020.							
Experimentação + Atividade enzimática (Atividade da amilase salivar)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados

11		REIN, Ana Luiza Oliveira; TEIXEIRA, Filipe Fiaes; FIGUEIREDO, Bárbara Castro-Pimentel.	Produção de Vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática	Ensino superior	Relatar a produção e a utilização de uma vídeo-aula como um recurso pedagógico em uma aula prática, na modalidade remota, do ensino de Bioquímica.	Relatam-se as técnicas e os procedimentos utilizados no desenvolvimento da vídeo-aula “Experimentando Bioquímica: Atividade Enzimática” para demonstrar, de forma experimental, a atividade enzimática da amilase salivar. A produção contém animações e filmagens e seguiu um protocolo experimental que é normalmente empregado nas aulas práticas presenciais de Bioquímica Médica	A utilização da vídeo-aula prática complementa a aula teórica sobre enzimas e proporciona ao estudante uma visão complementar sobre o tema. Essa estratégia contribui para que os alunos em isolamento social fiquem um pouco mais próximos de um laboratório de aula prática de Bioquímica.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental.					Atividade enzimática.	Atividade experimental em vídeo para aulas remotas.	

FREIRE, Bruna Franchito; GÁSPARI, Paula Fernandes; BERNARDES, Celene Fernandes. Análise da atividade da enzima creatina quinase e da isoenzima CK-MB–Simulação para ensino remoto. Revista de Ensino de Bioquímica , v. 18, n. 2, p. 56-61, 2020.							
Experimentação + Atividade enzimática (Atividade da enzima creatina quinase)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
12	2020	FREIRE, Bruna Franchito; GÁSPARI, Paula Fernandes; BERNARDES, Celene Fernandes.	Análise da atividade da enzima ...	Ensino superior	Desenvolver um vídeo para aulas remotas, da disciplina de Bioquímica para o Curso de Medicina, voltadas ao estudo experimental da atividade da enzima creatina quinase (CK, EC 2.7.3.2) e da isoenzima CK-MB, visando exemplificar e contextualizar com casos clínicos o tema metabolismo energético anaeróbico e relacionar com casos clínicos de alterações do tecido	Produção de simulações com o uso de ferramentas digitais acessíveis, como os programas Paint e PowerPoint, para demonstrar as etapas dos experimentos. Produção e disponibilização do vídeo. Realização de aula de forma remota, utilizando.	A atividade da CK [12] e da CK-MB [13] foram determinadas conforme esquemas representados numa figura.

					cardíaco e infarto agudo do miocárdio.		
Gênero				Conteúdos priorizados		Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Proposta/Desenvolvimento de atividade experimental.				Atividade enzimática.		Atividade experimental em vídeo para aulas remotas	

ALMEIDA, Joyce Fernandes; KIILL, Keila Bossolani. Modelagem tridimensional: Reflexões de futuros professores de Química para o ensino e aprendizagem da interação enzima-substrato. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 3, p. 282-304, 2019.

Modelagem + Modelo enzima-substrato (Modelo 3D desenhado)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
3	2019	ALMEIDA, Joyce Fernandes; KIILL, Keila Bossolani.	Modelagem tridimensional....	Ensino superior	Apresentar e discutir as reflexões de futuros professores de química sobre o processo de modelagem tridimensional como estratégia de ensino e aprendizagem da interação enzima-substrato .	Realização uma sequência de etapas da modelagem científica , quinze estudantes de uma turma do 7º período do curso de Licenciatura em Química. Essas etapas foram propostas na literatura e adaptadas para a modelagem tridimensional . As informações foram geradas por meio de desenhos, entrevistas, relatos pessoais e diário de pesquisa, seguido da transcrição e análise temática.	A participação dos estudantes nas atividades de modelagem tridimensional possibilitou: (i) indícios de aprendizagem significativa da interação enzima-substrato; e (ii) contribuições para a formação docente. Isso no sentido de possibilitar a reflexão sobre as implicações do uso de modelos 3D impressos em suas futuras práticas de ensino
Gênero				Conteúdos priorizados		Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Pesquisa educacional.				Interação enzima-substrato.		Modelagem.	

SANGIOGO, Fábio André; ZANON, Lenir Basso. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. **Química nova na escola**, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

Modelagem + Modelo enzima-substrato (Catálise enzimática)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados

5	2012	SANGIOGO, Fábio André; ZANON, Lenir Basso	Reflexões sobre modelos ...	Ensino superior	Compreender e refletir sobre limites e potencialidades do uso de imagens representativas de entidades químicas no ensino do conteúdo enzimas e catálise enzimática .	Trata-se de uma pesquisa de caráter qualitativo e interpretativo, com produção de dados a partir de depoimentos expressos pelos sujeitos interativos. Os licenciandos realizaram pesquisas sobre o conteúdo enzimas e catálise enzimática, analisaram livros didáticos (LD) de biologia e química do ensino médio e elaboraram subsídios, slides e questões. Depois, participaram de “módulos de interação”. Analisadas interações de sujeitos em aulas de componentes curriculares (CC) de cursos de formação inicial de professores de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT). Esses módulos envolveram uma diversidade de representações de entidades químicas em estudos sobre o conteúdo enzimas e catálise enzimática em estudos sobre a respiração celular e a digestão	Os resultados indicaram possibilidades de inserção de mediações referentes a modelos e representações de estruturas submicroscópicas em espaços de formação de professores de CNT, com potencialidade de contribuir para superar visões simplistas sobre estas e o seu uso no ensino. No que se refere às abordagens sobre a atividade enzimática e as interações entre enzima e substrato, discussões enfatizaram a percepção de que representações, em LD, pouco contribuem para o pensar conceitualmente, a exemplo do modelo chave-fechadura . Para a compreensão da catálise enzimática , são necessários cuidados, por parte do professor, ao usar representações de modelos teóricos em aulas de biologia e química , considerando que elas sempre são parciais e requererem devidas explicações em nível teórico-conceitual.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Pesquisa educacional.					Representações estruturais. Atividade enzimática	Análise de livros didáticos. Modelagem	

MARTINS, Diego Magno et al. O papel dos modelos computacionais e das analogias na aprendizagem do processo de interação fármaco-enzima no ensino fundamentado em modelagem. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências , 2020; 823-854.							
Modelagem + Modelo enzima-substrato (Modelos computacionais)							
Nº	Ano	Autor(es)	Título	Nível	Objetivos	Metodologia	Resultados
7	2020	MARTINS, Diego Magno et al.	O papel dos modelos computacionais ...	Ensino Superior	Investigar os papéis desempenhados pelos modelos computacionais e pelos processos de crítica e elaboração de analogias na compreensão conceitual do processo de interação fármaco-enzima, por licenciandos em Química, ao vivenciarem um processo de ensino fundamentado na modelagem	O entendimento conceitual dos estudantes ao longo do processo de ensino-aprendizagem foi investigado por meio de um estudo de caso. Foi realizado um conjunto de atividades, de cunho investigativo, propõem aos estudantes uma situação-problema, na qual eles precisam decidir entre dois compostos (A e B), qual o melhor inibidor do ciclo de reprodução do vírus HIV. Para justificar tal escolha, os estudantes devem utilizar recursos da modelagem molecular na busca por evidências que a sustente.	A representação do sistema pelos modelos computacionais possibilitou que os estudantes desenvolvessem uma maior compreensão do conceito alvo, devido à visualização da disposição espacial dos átomos em macromoléculas e ao tratamento dinâmico desse tipo de sistema. Essa compreensão foi manifestada, principalmente, nos processos de crítica e criação de analogias.
Gênero					Conteúdos priorizados	Estratégias didáticas utilizadas e/ou propostas para a abordagem do conteúdo	
Pesquisa educacional.					Modelos enzima-substrato.	Modelagem computacional	

ANEXO D - MATRIZ DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DA ETAPA DE BIBLIOGRAFIA PROPOSITIVA.

DA SILVA, Taciana Gonçalves; BARBOSA, Fernanda Coutinho Retondaro. Inibição enzimática: uma proposta de atividade experimental. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 523-530, 2019.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
1	Experimentação + Atividade enzimática			

DO NASCIMENTO, Rakel Gomes et al. Prática lúdica 'DNA recombinante' e sua influência na percepção e no conhecimento de estudantes sobre biotecnologia e enzimas de restrição. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 02, p. 262-282, 2020.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
2	Experimentação + Propriedades das enzimas			

OMORI, Álvaro Takeo; PORTAS, Viviane Barbosa; OLIVEIRA, Camila de Souza de. Redução enzimática do 4-(dimetilamino) benzaldeído com pedaços de cenoura (*Daucus carota*): um experimento simples na compreensão da biocatálise. **Química Nova**, v. 35, p. 435-437, 2012.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
4	Experimentação + Atividade enzimática	Desenvolvimento de experimento, com base em Química Verde, para obtenção do álcool 4-(dimetilamino)benzílico utilizando pedaços de cenoura levou ao álcool correspondente	Esta prática é de fácil execução, possui custo baixo e é interdisciplinar. Como o tempo reacional é relativamente longo, este experimento pode ser feito em etapas sucessivas.	Viabilização e aplicações de atividades de catálise enzimática para abordagens sustentáveis em Química Verde.

NOVAES, Fábio Junior M. et al. Atividades experimentais simples para o entendimento de conceitos de cinética enzimática: *Solanum tuberosum* – uma alternativa versátil. **Química nova na escola**, v. 35, n. 1, p. 27-33, 2013.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
6	Experimentação + Atividade enzimática	Desenvolvimento de experimento didático de baixo custo para o ensino de catálise enzimática na escola.	Fornecer alternativas experimentais econômica e operacionalmente viáveis, dentro do contexto da realidade do ensino médio e médio técnico público brasileiro, para a contextualização da cinética químico-enzimática aprendida em sala de aula, empregando materiais do cotidiano, baratos e de fácil acesso.	Investimento em pesquisas para desenvolvimento de experimentos que considerem as condições das escolas de ensino médio.

DE AZEVEDO PINHEIRO, William; POMPILHO, Wendel Mattos. O ensino de enzimas: uma abordagem experimental de baixo custo. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2011.

Experimentação + Atividade enzimática (Biocatálise, material do cotidiano)

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
8	Experimentação + Atividade enzimática	Utilização de experimentos rápidos, com baixo custo, e de fácil manuseio no ensino de enzimas.	Experimentos com execução simples e rápida, fácil manuseio, baixo custo, interdisciplinaridade, e, sobremaneira, são adaptáveis às condições das escolas.	Investir em experimentos para aplicação em sala de aula.

CLERICI, Maria Teresa Pedrosa Silva et al. Escurecimento Enzimático: uma aula prática. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 2, p. 71-90, 2014.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
9	Experimentação + Atividade enzimática	Realização de um experimento para discussão sobre estratégias de prevenção do escurecimento enzimático	Experimento com abordagem multidisciplinar dentro da temática alimentos.	Incluir aplicações tecnológicas nas atividades didáticas nos ambientes escolares.

DE ALMEIDA, Durinéio José; VIEIRA, Renata Léia Demário; DE FREITAS, Guilherme Barroso Langoni. Das enzimas à análise sensorial: relato de aula prática interdisciplinar. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 2, p. 55-70, 2014.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
----	-----------	---------	----------------------	----------------------

10	Experimentação + Atividade enzimática	Abordagem da pedagogia da redescoberta, tratada de maneira interdisciplinar, isto é, envolvendo conhecimentos de Análise Sensorial, Estatística, Biologia Celular e Tecnologias em Nutrição.	Proposta contribuiu para instigar os estudantes não só o conhecer, mas o explorar e o contestar.	Envolver conhecimentos de outras áreas nas abordagens sobre enzimas.
----	--	--	--	--

RIBEIRO, Bernardo D. et al. Aplicação de enzimas: propostas para disciplina experimental. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 5, p. 787-805, 2013.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
13	Experimentação + Atividade enzimática	Desenvolvimento de procedimento experimental com aplicação de enzimas em diversos substratos, focalizando àqueles presentes na rotina diária das pessoas.	Mostra possibilidade de se construir experimentos de fácil execução a serem aplicados em aulas práticas de disciplinas de tecnologia de alimentos e tecnologia enzimática, utilizando materiais de uso cotidiano e de fácil obtenção, como roupas, frutas, verduras e legumes.	Incluir nas aulas experimentais alguns procedimentos de bioprocessos industriais envolvendo a aplicação de enzimas.

REIN, Ana Luiza Oliveira; TEIXEIRA, Filipe Fiaes; FIGUEIREDO, Bárbara Castro-Pimentel. Produção de Vídeo-aula sobre uma Aula Prática sobre Atividade Enzimática. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 18, n. 2, p. 43-48, 2020.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
11	Experimentação + Atividade enzimática	Produção de uma vídeo-aula para uma demonstração, de forma experimental, da estrutura proteica na atividade enzimática tendo como exemplo a enzima amilase salivar e também consigam entender o efeito do pH e da temperatura na atividade das enzimas.	A utilização da vídeo-aula prática complementou a aula teórica sobre enzimas e proporcionou ao estudante uma visão completa sobre o tema discutido. P	Desenvolver instrumentos/produtos didáticos para o ensino de enzimas, em modo não-presencial.

FREIRE, Bruna Franchito; GÁSPARI, Paula Fernandes; BERNARDES, Celene Fernandes. Análise da atividade da enzima creatina quinase e da isoenzima CK-MB–Simulação para ensino remoto. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 18, n. 2, p. 56-61, 2020.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
----	-----------	---------	----------------------	----------------------

12	Experimentação + Atividade enzimática	Estudo experimental da atividade da enzima creatina quinase (CK, EC 2.7.3.2) e da isoenzima CK-MB a fim de exemplificar e contextualizar a Bioquímica com casos clínicos, em aulas com simulações online.	A experiência de ensino remoto foi muito enriquecedora para o estudante, que estavam em isolamento social. Eles consideraram o uso dessas ferramentas online foi essencial para dar continuidade ao curso, mas que aulas presenciais sejam de grande importância e indispensável para a formação médica,	A produção de atividades experimentais sobre o conteúdo enzimas, com recursos das TDIC, para uso presencial e remoto são importantes.
----	--	---	--	---

ALMEIDA, Joyce Fernandes; KIILL, Keila Bossolani. Modelagem tridimensional: Reflexões de futuros professores de Química para o ensino e aprendizagem da interação enzima-substrato. Investigações em Ensino de Ciências , v. 24, n. 3, p. 282-304, 2019.				
Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
3	Modelagem + Modelo enzima- substrato	O processo de construção e a reconstrução dos modelos 3D impressos foram essenciais para a aprendizagem da interação enzima-substrato, auxiliando os estudantes a considerarem aspectos químicos não observáveis e a superarem a ideia da interação enzima-substrato como sendo um processo estático e mecânico.	Contribuições para formação de futuros professores de Química, em termos da compreensão da natureza dos modelos na Ciência, ou seja, da aquisição de ideias em relação ao processo de construção de modelos, especialmente as limitações. Favorecimento de discussões e reflexões sobre o uso dos modelos 3D impressos e da modelagem tridimensional em suas futuras práticas de ensino.	Importância do desenvolvimento e socialização de pesquisas junto estudantes do curso de Licenciatura em Química e de outros cursos em que a disciplina de Bioquímica esteja prevista no plano curricular, que vá para além da modelagem da interação enzima-substrato.

SANGIOGO, Fábio André; ZANON, Lenir Basso. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. Química nova na escola , v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.				
Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
5	Modelagem + Modelo enzima- substrato	Possibilidades de inserção de mediações referentes a modelos e representações de estruturas submicroscópicas em espaços de formação de professores de CNT, com potencialidade de contribuir	As abordagens voltadas à compreensão da catálise enzimática necessitam de cuidados, por parte do professor, ao usar representações de modelos teóricos em aulas de biologia e química, considerando que elas sempre são parciais e requererem	Estimular práticas profissionais formativas nos Cursos de Graduação que estimulem discussões e reflexões no ensino e na formação de professores e de outros profissionais sobre aspectos teórico-representacionais e fenomenológicos das enzimas.

		<p>para superar visões simplistas sobre estas e o seu uso no ensino.</p> <p>As representações, em LD, pouco contribuem para o pensar conceitualmente, a exemplo do modelo chave-fechadura, sobre a atividade enzimática e as interações entre enzima e substrato.</p>	<p>devidas explicações em nível teórico-conceitual.</p> <p>As imagens representativas de estruturas enzimáticas necessitam ser problematizadas e ressignificadas de modo que o professor possa cumprir o papel essencial de mediar explicações escolares.</p> <p>Considerar os limites e obstáculos na aprendizagem conceitual, quando se usa recursos instrucionais para evitar incorrer em simplificações ou deturpações conceituais relacionadas à interpretação de modelos explicativos e suas representações, tais como os envolvidos na compreensão da atividade enzimática</p>	
--	--	---	---	--

MARTINS, Diego Magno et al. O papel dos modelos computacionais e das analogias na aprendizagem do processo de interação fármaco-enzima no ensino fundamentado em modelagem. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2020; 823-854.

Nº	Categoria	Achados	Proposição do estudo	Proposição emergente
7	Modelagem + Modelo enzima-substrato	<p>A modelagem possibilitou a evolução do entendimento conceitual dos estudantes sobre o processo de formação do complexo fármaco-enzima.</p> <p>A utilização de modelos computacionais contribuiu para que incorporassem novas características ao seu modelo inicial, tornando-o mais coerente com as ideias científicas.</p>	<p>Estratégias baseadas na elaboração de analogias pelos estudantes podem favorecer a aprendizagem de conceitos do conteúdo enzimas.</p> <p>Utilização de modelos computacionais para o entendimento dos estudantes sobre processos de natureza complexa e dinâmica</p>	<p>Capacitar docentes de cursos de formação de professores na modelagem computacional com fins didáticos.</p>