

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA  
PÁGINA DE INTERNET “ENZIMAS” PARA O  
ENSINO DE GRADUAÇÃO**

**Maurílio Luciano Sabino Lueille**

**Rio de Janeiro, 2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Maurílio Luciano Sabino Lueille**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA  
PÁGINA DE INTERNET “ENZIMAS” PARA O  
ENSINO DE GRADUAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Bioquímica Médica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração Educação, Difusão e Gestão em Biociências.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Lucia Bianconi

Rio de Janeiro, 2007

**Maurílio Luciano Sabino Lueille**

# **DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA PÁGINA DE INTERNET “ENZIMAS” PARA O ENSINO DE GRADUAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Bioquímica Médica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração Educação, Difusão e Gestão em Biociências.

Aprovada por:

---

Presidente: Prof. Dra. Maria Lucia Bianconi  
Instituto de Bioquímica Médica/ UFRJ

---

Prof. Dra. Eleonora Kurtenbach  
Instituto de Bioquímica Médica/ UFRJ

---

Prof. Dra. Georgia Correa Atella  
Instituto de Bioquímica Médica/ UFRJ

---

Prof. Dr. Francisco Caruso  
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)  
Instituto de Física/ UERJ

---

Prof. Dr. Fabio Ceneviva Lacerda Almeida  
Instituto de Bioquímica Médica/ UFRJ  
(revisor e suplente)

---

Prof. Dr. Maurício Roberto Motta Pinto da Luz  
Universidade Federal do Rio de Janeiro/ UFRJ  
Fundação Oswaldo Cruz/ FIOCRUZ  
(suplente externo)

Rio de Janeiro, 15 de março de 2007

Dedico esta dissertação...

À memória de meu pai Sabino Luiete por sabiamente me ter indicado o caminho certo;

À minha mãe Celeste Navemba por me proporcionar a oportunidade de viver;

À Joana da Glória, minha esposa e companheira dos tempos bons e também das horas difíceis;

Aos meus filhos Wellington, Hélio e Evandro, minha razão de viver e de luta;

À memória da Lizeth e Claudete, minhas irmãs, tão prematuramente arrancadas do nosso convívio;

Aos meus irmãos Clarisse, Cacilda, Aleixo e Almerindo, companheiros intransigentes de jornada;

Aos meus queridos sobrinhos por fazerem com que a vida tenha sentido!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por ter permitido mais esta conquista em minha vida.

À Professora Maria Lucia Bianconi, por me aceitar como seu aluno e por sua sábia orientação; sua persistência, tenacidade, paciência, dedicação e amizade foram fundamentais para que esse trabalho conhecesse seu epílogo. Meu sincero e profundo Muito Obrigado!

Aos colegas do Laboratório de Biocalorimetria, pelo carinho, companheirismo e amizade; um agradecimento especial ao Joaquim Leles cuja dedicação e inteligência foram fundamentais para desenrolar um dos mais complicados nós deste trabalho; À Mariana, Karla, Luiza e Cheng vão meus agradecimentos pela companhia e amizade que tornaram prazerosa esta passagem pelo laboratório.

À Valéria Vieira que encontrei no laboratório quase no fim do seu doutorado; suas dicas preciosas foram fundamentais para que eu pudesse dar os primeiros passos.

Aos colegas do Departamento de Bioquímica da Faculdade de Medicina da Universidade Agostinho Neto/ UAN, pelo apoio moral e até material e por terem consentido o sacrifício de desenvolver tarefas que normalmente me seriam acometidas sendo assim mais um peso em seu trabalho; um agradecimento especial à Dra. Amélia Faustino Bernardo pelas razões atrás evocadas.

À Stella Maffra e à Lilia Bender Machado por terem mobilizado alunos do CEDERJ e da UFRRJ, respectivamente, para participar da avaliação.

Aos alunos de IC que se mobilizaram para que seus colegas pudessem responder ao formulário; neste particular gostaria de agradecer de forma especial ao Renato (CEDERJ/ Barra de Pirauí), ao Dyego e ao Rogério, PIBEX do nosso laboratório.

Ao Rosalon Pedro que, em Luanda, mobilizou alunos da Faculdade de Medicina para participar da avaliação da página “Enzimas”.

A todos os alunos de graduação e pós-graduação das diferentes universidades do Brasil e de Angola que se dignaram em participar da avaliação da página “Enzimas”.

Aos professores que sacrificaram parte do seu precioso tempo para responder ao formulário de avaliação da página “Enzimas”.

Ao Albano Ferreira e Miguel Bettencourt, eternos companheiros de jornada, pelas sugestões e opiniões.

À Faculdade de Medicina da Universidade Agostinho Neto na pessoa do Professor Dr. Cristóvão Simões pelo apoio multifacetado.

Ao ISPRA, Instituto Superior Privado de Angola pelo suporte financeiro.

A todos que direta ou indiretamente ajudaram a tornar este trabalho uma realidade.

It will not enough to catalog what all of the biological macromolecules do. We need to know how they do it. One question is about Biology, the other Chemistry. Enzymes have been perfecting their skills for more than 3 billion years and they surely have a great deal of sophisticated Chemistry to teach us. Happily, there is some hope that the number of distinctly different lessons is merely finite, for we already see examples of enzymes molecules, unrelated by evolution, but with almost identically arranged working parts. In each such case, nature has twice faced the same biochemical problem and twice found the same optimum solution. Can we understand what the enzymes are trying to tell us?

Joseph Kraut  
Science (1988), Vol. 242, p. 539

## RESUMO

Este trabalho consistiu no desenvolvimento e avaliação de uma página de internet destinada ao ensino de enzimas para a graduação ([www.bioqmed.ufrj.br/enzimas](http://www.bioqmed.ufrj.br/enzimas)). A página contém, entre seus diversos itens, um espectrofotômetro virtual que permite a visualização da cinética enzimática de experimentos reais. Sua avaliação consistiu no monitoramento dos acessos à página no período de 18 de outubro a 30 de novembro de 2006, e na análise das respostas a formulários específicos. As respostas foram avaliadas estatisticamente pelo teste ANOVA. Comentários livres e sugestões foram reunidos em seis categorias e sujeitos a análise qualitativa. Durante o período, registrou-se uma média de 14 acessos diários, a maioria no Brasil (88,8%). Os graduandos (n = 117) não referem grande dificuldade no entendimento da proposta da página, considerando-a de grande utilidade para seus estudos e de influência positiva em seu conhecimento prévio sobre enzimas. Os pós-graduandos (n = 17) referiram menor dificuldade no entendimento da proposta da página e, apesar da pouca influência em seu conhecimento prévio sobre enzimas, consideraram-na de grande utilidade para o processo de ensino/aprendizagem. Alunos de ambos os grupos atribuíram notas positivas às diferentes seções da página, criticando questões de forma. Os professores (n = 14) consideraram como positivos os aspectos de utilidade da página, atribuindo notas positivas às diferentes seções da mesma. Nenhum dos grupos considerou que a ferramenta substitui aulas presenciais. Conclui-se que a página é uma ferramenta didática útil para o ensino de enzimas em nível de graduação, não substituindo as aulas presenciais.

Palavras chave: enzimas; página de internet; ensino de graduação; avaliação.

## ABSTRACT

This study consisted in the development and assessment of a website to introduce enzymes for undergraduate students ([www.bioqmed.ufrj.br/enzimas](http://www.bioqmed.ufrj.br/enzimas)). Among the many topics available, a virtual spectrophotometer allows the visualization of enzyme kinetics of assays done in the laboratory. The evaluation of the website consisted in monitoring the visits during October 18 and November 30, 2006, and the analysis of a survey. The answers were statistically analyzed by ANOVA test. Free opinions and comments were grouped in six categories and were subject to qualitative analysis. An average of 14 daily visits were recorded during the evaluation period, most of them from Brazil (88.8%). Undergraduate students (n = 117) did not find a great difficulty in the understanding of the website content, considering it very useful for their studies and having a positive effect in their previous knowledge about enzymes. Graduate students (n = 17) indicate a lower level of difficulty in the understanding of the website contents, and besides the small influence in their previous knowledge about enzymes, these students also found it very useful to the learning and teaching processes. Both groups of students gave positive remarks to all sections of the website, although they addressed structural feature (appearance) critically. Professors (n = 14) considered the usefulness aspects of the website positive, conceding good grades to all sections. None of the groups accept the possibility of the website to replacing classes. In conclusion, the website Enzymes is a useful didactic tool to the learning process of enzymes in the undergraduate level, not replacing the classes.

Key words: enzymes; website; under graduation level; evaluation.

**SUMÁRIO:**

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. O ensino de ciências: necessidade de novas ferramentas didáticas.....</b>	<b>11</b>
1.1.1. As tecnologias de informação e comunicação e o ensino de ciências.....	12
<b>1.2. Breve histórico sobre o conhecimento das enzimas .....</b>	<b>17</b>
1.2.1. Primórdios do conhecimento sobre enzimas.....	18
1.2.2. As enzimas e sua natureza biológica .....	21
1.2.3. Enzimas e estudos cinéticos .....	23
<b>1.3. Questões atuais em enzimologia .....</b>	<b>26</b>
<b>1.4. Importância do conhecimento das enzimas .....</b>	<b>30</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
3.1. Desenvolvimento da página “Enzimas”.....	33
3.2. Análise dos acessos à página “Enzimas”.....	36
3.3. Avaliação da página “Enzimas” .....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1. Acessos à página “Enzimas” .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2. Avaliação da página por alunos de graduação .....</b>	<b>45</b>
4.2.1. Grau de dificuldade no entendimento da proposta da página .....	46
4.2.2. Influência da página no conhecimento prévio dos graduandos .....	48
4.2.3. Aspectos da avaliação geral da página “Enzimas” .....	50
4.2.4. Atribuição de notas às diferentes seções da página “Enzimas” .....	53
<b>4.3. Comentários e sugestões por graduandos .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4. Avaliação da página por alunos de pós-graduação .....</b>	<b>59</b>
4.4.1. Grau de dificuldade no entendimento da proposta da página .....	60
4.4.2. Influência da página no conhecimento prévio dos pós-graduandos .....	61
4.4.3. Aspectos da avaliação geral da página por pós-graduandos .....	62
4.4.4. Atribuição de notas às diferentes seções da página .....	64
<b>4.5. Comentários e sugestões por pós-graduandos .....</b>	<b>65</b>
<b>4.6. Avaliação da página “Enzimas” por professores de graduação .....</b>	<b>69</b>
<b>4.7. Comentários e sugestões por professores de graduação .....</b>	<b>71</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em biociências, o conhecimento científico emergente tem procurado responder a questões cruciais sobre estrutura e função das macromoléculas, desenvolvimento e evolução das espécies, dando ênfase às bases moleculares da vida (MCCLEAN, 2004). Pela sua complexidade, o entendimento deste conhecimento demanda grande capacidade de abstração. Os estudantes manifestam, com frequência, dificuldades em estabelecer a relação estrutura-função dos constituintes moleculares da célula e integrar harmoniosamente os processos moleculares e celulares necessários à manutenção da vida.

Esta limitação resulta provavelmente da incapacidade de o material didático disponível em transmitir uma visão tridimensional da estrutura das macromoléculas, ou mesmo da dinâmica dos processos biológicos. É difícil para o estudante entender, por exemplo, a grande flexibilidade do metabolismo, o seu caráter altamente dinâmico, contínuo e integrado apesar da grande compartimentalização celular; geralmente, os processos sedimentam em suas mentes como descontínuos e isolados, não inter-relacionados. Há, portanto, necessidade de se desenvolverem ferramentas apropriadas no processo de aquisição deste conhecimento, que tanto quanto possível transmitam a idéia tridimensional da célula e de seus componentes moleculares e o caráter complexo, contínuo e integrado dos diferentes processos celulares e moleculares. Entretanto, não se afigura como tarefa fácil converter estes objetos e/ou processos, geralmente analisados por métodos, instrumentos ou técnicas que ampliam largamente a capacidade de resolução do olho humano, em modelos que os representam na forma mais fielmente próxima da realidade, à luz do conhecimento presente. Felizmente, foram igualmente desenvolvidas tecnologias que facilitam a tarefa de representá-los, recorrendo a modelos racionalmente construídos. As novas tecnologias de informação têm recursos disponíveis que se prestam bem a esta tarefa, se devidamente explorados.

Atualmente, um dos assuntos de maior importância na Bioquímica Básica está relacionado ao estudo de enzimas, catalisadores biológicos de elevada eficiência capazes de elevar as velocidades de reações químicas em até  $10^{11}$  vezes (ALEDO, 2003; KRAUT, D., 2003) As enzimas são proteínas e, portanto, são objetos interessantes de estudo já que permitem que a relação estrutura–função de macromoléculas seja bem explorada.

Nos últimos anos, acumularam-se evidências de que a seleção natural teria funcionado a nível molecular no sentido de gerar estruturas altamente otimizadas para o metabolismo como é o caso das enzimas. Torna-se, portanto, claro que um fato fundamental na evolução biológica tenha sido a seleção e aperfeiçoamento das enzimas como ferramentas catalíticas (HEINRICH, 2002). Deste modo, a compreensão do metabolismo e outros processos celulares, passa necessariamente pelo conhecimento destas importantes macromoléculas e, assim sendo, o ensino deste tópico em Bioquímica (a enzimologia) para alunos de graduação, é importante na medida em que permite conhecer e compreender um dos aspectos mais interessantes da Biologia e com isto, outros aspectos biológicos se tornam mais claros e lógicos aos estudantes.

As enzimas são macromoléculas, bastante eficazes na sua atividade. Seu elevado poder catalítico e sua refinada especificidade encontram explicação em sua complexa estrutura seletivamente consagrada pelo processo evolutivo. Um entendimento claro da estrutura de enzimas é crucial para se entenderem os mecanismos e diferentes estratégias catalíticas que elas utilizam para exercer sua atividade.

Os estudantes de graduação manifestam, com frequência, dificuldades em apreender aspectos elementares sobre cinética enzimática e demais aspectos relacionados às enzimas, provavelmente resultado de um ensino eminentemente teórico, sem o adequado suporte laboratorial (BUSTOS, 2000; GONZÁLEZ-CRUZ, 2003; VICÁRIO, 1997). Esta situação pode ser contornada se forem devidamente exploradas as novas tecnologias de informação e

comunicação. Importa, pois, encontrar formas claras de transmissão deste conhecimento que convertam os complicados gráficos de cinética enzimática, os complexos mecanismos de catálise e os aspectos bioenergéticos inerentes em apaixonantes ferramentas de conhecimento biológico.

### **1.1. O Ensino de Ciências: Necessidade de Novas Ferramentas Didáticas**

O conhecimento é, antes de tudo, uma construção histórica e social, na qual interferem fatores de ordem antropológica, cultural e psicológica. Ele não é algo situado fora do indivíduo, construído independentemente da realidade exterior, dos demais indivíduos e de suas próprias capacidades pessoais (BRASIL, 1998). A realidade torna-se conhecida quando se interage com ela, modificando-a física e/ou mentalmente. A atividade de interação permite interpretar a realidade e construir significados; permite, também, construir novas possibilidades de ação e de conhecimento (BRASIL, 1998).

O saber científico, particularmente, procura conhecer a realidade por via de um método que tem na experimentação um de seus eixos fundamentais, valorizando, por conseguinte, a interação entre o sujeito e o objeto de estudo. Por isso, na aquisição deste conhecimento não são alheios os fatores de natureza cultural e psicológica, devendo estes serem devidamente considerados. O ensino de ciências tem por objetivo não apenas a aquisição de uma linguagem própria e o domínio de procedimentos específicos mas, sobretudo, criar no sujeito um raciocínio crítico que mantém sua estrutura mental aberta à aquisição de novo conhecimento. Çepni, 2006, diz que o grande objetivo do ensino de ciências é ensinar os conceitos científicos de forma compreensível e fazer com que os estudantes se apercebam como estes conceitos podem ser úteis em sua vida cotidiana. Para que este objetivo possa ser alcançado é fundamental que as ferramentas didáticas usadas

considerem os aspectos pessoais e psicológicos que marcadamente interferem no processo de aprendizagem.

### **1.1.1 - As Tecnologias de Informação e Comunicação e o Ensino de Ciências**

Há cerca de três décadas, novas tecnologias de comunicação e informação vêm sendo aplicadas ao processo educativo. Com efeito, a instrução assistida por computador vem se popularizando mundialmente. O uso de computadores no processo educativo é cada vez mais uma constante em escolas, tanto públicas como privadas, e vem mobilizando atenção dos políticos mundialmente. Segundo Giordan (2006) grandes projetos de políticas públicas têm sido deflagrados pelo mundo afora e, no Brasil, a situação não é diferente. O computador pode ser uma importante ferramenta ao providenciar aos estudantes acesso dinâmico a representações diagramáticas subjacentes a determinada estrutura do conhecimento (HSU *apud* DIECHEL & SCHANK, 1995). O ambiente multimídia que o computador suporta proporciona ao estudante suporte visual para a compreensão conceitual e muitas oportunidades para interpretar imagens em contextos significativos (HSU *apud* BRASFORD, 1996). Muitos pesquisadores e educadores têm recomendado o uso do computador no ensino de ciências argumentando que o êxito, nestes casos, aumenta consideravelmente (ÇEPNI, 2006). O uso de computadores aumenta a confiança dos estudantes e ajuda-os a descobrir as interações entre diferentes componentes de um sistema complexo (ÇEPNI *apud* RAMJUS, 1990). São várias as formas como o processo de aquisição de conhecimento pode ser mediado por computador. Uma delas, eventualmente a mais potente, é a grande possibilidade de comunicação que proporciona, particularmente através da internet. Segundo Giordan,

A comunicação mediada por computador se concretiza por meio de redes de computadores, uma idéia que surgiu em meio a muitas iniciativas desencadeadas pelo governo dos Estados Unidos quando do lançamento do primeiro satélite no espaço, na segunda metade da década de 1950. Por iniciativa do Departamento de Defesa, iniciaram-se estudos com vistas a desenvolver um sistema de troca de informação entre os computadores, que já eram reconhecidos como principais recursos para armazenar e processar

informações. Prevaleceu, na época, uma proposta de troca de informação por meio de pequenos pacotes, em contraposição à idéia de trocar grandes volumes de informação. O modelo de comutação de pacotes, no qual os computadores ficam permanentemente conectados, culminou com o desenvolvimento de um protocolo de troca de pacotes e, finalmente, com sua padronização. A publicação do protocolo TCP/IP é considerada o marco de fundação da internet, o que ocorreu em 1980, onze anos após a primeira experiência de conexão de computadores a longa distância (Giordan, 2006, p 292).

A Internet foi rapidamente adotada no meio universitário internacional, mas sua popularização só teve início após a gigante Microsoft ter admitido que a comunicação em rede seria a principal aplicação dos computadores, isso já em meados da década de 1990, quando foi lançado seu navegador (GIORDAN, 2006). Hoje, a Internet é uma ferramenta onipresente em nossa atividade e o principal pilar da chamada Sociedade da Informação.

São vários os recursos educativos que a internet proporciona podendo ser reunidos em dois grandes grupos:

- Ferramentas comunicacionais;
- Recursos de conteúdo;

No primeiro grupo, figuram modalidades diversas tais como o correio eletrônico (e-mail), os fóruns *on-line*, salas de *chat* e videoconferência. Elas proporcionam, por exemplo, o suporte tutorial no processo de aprendizagem e tem sido enfatizada a importância da aprendizagem colaborativa proporcionada pelos fóruns e salas de *chat* em ambientes de *e-learning*. (STRUCHINER, 1998).

No segundo grupo salienta-se o acesso a diferentes fontes de informação como revistas especializadas, jornais, boletins, bibliotecas virtuais, bancos de dados, bem como as diferentes formas de representação da informação veiculada geralmente através de *websites*. Estas representações incluem desde representações com características que correspondem literalmente ao mundo real (imagens de vídeo), representações correspondentes a expressões simbólicas (animações, gráficos dinâmicos, tabelas) até representações concebidas para corresponder a entidades conceituais e eventos à luz do pensamento de pesquisadores (por

exemplo o processo de modelagem). (HSU, 2006). Segundo HSU (2006) muitos pesquisadores têm revelado que o ensino baseado na *web* tem um efeito positivo na motivação do estudante, na atitude científica e na eficiência do aprendizado. A hipermídia do computador e a tecnologia de rede podem ser ferramentas eficazes para simular situações reais difíceis de serem reproduzidas no ambiente tradicional de sala de aulas (GIORDAN, 2006; GIBBONS, 2004). Assim, no ensino da Bioquímica, perante as dificuldades de utilização de laboratórios, a internet pode oferecer recursos alternativos valiosos.

Para que o ensino baseado na *web* possa ser desenvolvido com eficácia, é importante não ignorar os aspectos psicológicos e culturais geralmente envolvidos no processo de aprendizagem; os pesquisadores nesta área destacam de forma marcada a necessidade de considerar a atitude do aluno em relação ao uso do computador. Segundo eles são vários os aspectos que devem ser pesquisados relativamente à atitude do aluno para o computador tais como o gosto pelo computador, a ansiedade, a confiança, a utilidade e o prazer no uso do computador. Outros ressaltam como variáveis a considerar a idade, o gênero e o conhecimento dos alunos. Segundo alguns autores, estudantes do sexo masculino têm, em relação ao computador, atitudes mais positivas do que as estudantes; (HSU, *apud* COMBER, COLLEY, HAGREAVES & DORN, 1997; SHASHAANI, 1997; WU, 1995; WU & WANG, 1986). O desenho gráfico e o conteúdo do material também afetam a atitude dos alunos. Por isso, o desenho gráfico do material a ser utilizado para ensino baseado na *web* é um aspecto importante a considerar na medida em que influencia a motivação e empenho do aluno.

Uma grande vantagem das representações veiculadas pela internet para o ensino de ciências é a possibilidade de combinação de representações escritas, imagéticas e sonoras o que diversifica significativamente as aplicações educacionais (GIORDAN, 2006). Deste fato resulta a possibilidade de confecção de material educativo sob a forma de animações que exploram amplas possibilidades cognitivas dos alunos. Solomonidou e Stavridou, 2001 (*apud*

GIORDAN, 2006) relataram o desenho gráfico e o desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem que contém simulações e visualizações de experimentos sobre equilíbrio químico, simulações de reações químicas representadas no nível atômico-molecular, que na verdade podem ser consideradas como animações, representações simbólicas das reações químicas, gráficos dinâmicos e uma seqüência de problemas por meio dos quais a lei da constante de equilíbrio é derivada. Uma das características desse estudo diz respeito à influência da pesquisa das concepções dos alunos sobre equilíbrio químico no desenho e desenvolvimento da arquitetura do ambiente de aprendizagem. Segundo Giordan (2006), apesar de as autoras considerarem essa como a característica principal do ambiente para promover a mudança nas concepções dos alunos, por meio de situações de conflito cognitivo, parece que a combinação entre as formas estática e dinâmica de representação do fenômeno - macroscópico, atômico-molecular, simbólico e matemático - em uma única tela aliada à possibilidade de intervenção dos alunos nos parâmetros e variáveis do sistema, providencia os alunos com meios mediacionais necessários para executar ações, sendo estes os traços distintos que repercutem tanto na resolução de problemas, quanto na elaboração de narrativas explicativas. De acordo com Gredler (*apud* GIORDAN, 2006) de modo geral, a simulação tem sido pouco empregada como meio para transpor o fenômeno para o computador. Na maior parte dos casos, animações são embutidas em ambientes de aprendizagem, as quais estão integradas outras aplicações. Tais aplicações procuram explorar ao máximo a percepção visual já que esta é um sentido bastante desenvolvido em seres humanos e através dela se faz grande parte do aprendizado. A visão nos permite obter informação de nosso entorno e processa-la para tomar decisões ou formar conceitos. Numa perspectiva educacional, a visualização ajuda o estudante a converter conceitos abstratos em objetos visuais específicos que podem ser mentalmente manipulados (MCCLEAN, 2004). Ferramentas visuais bem desenhadas permitem aos estudantes processar quantidade maior de informação em

relativamente pouco tempo e construir sua visão pessoal de um processo. As representações gráficas são processos visuais que aumentam a informação presente no texto permitindo um enfoque ao aprendiz. Elas são mais eficazes quando suportam conteúdo sobre o qual o estudante tem pouca informação anterior. A animação em computador, em particular, é uma nova ferramenta educativa que fomenta a aprendizagem a longo termo chamando atenção para determinados objetos desde os primórdios da instrução. Rieber, 1994 (*apud* MCCLEAN, 2004) demonstrou que o uso de animações para comunicar idéias e processos que variam com o tempo reduz abstrações associadas à transição temporal do processo. Nesta perspectiva as animações se constituem em ajudas importantes para suportar a memória de longo prazo. O que distingue a animação de uma imagem estática é o movimento que providencia uma suave representação transitória que capta as inter-relações complexas no decurso de um processo específico (STITH, 2004). O movimento leva à memória de longo prazo, o que não acontece necessariamente com imagens estáticas. Este resultado é mais evidente em indivíduos com dificuldades em apreender relações espaciais. A visualização é, portanto, uma ferramenta importante no processo de aprendizagem de conteúdos científicos.

A metodologia de pesquisa baseada na aplicação de pré e pós-testes forneceu um conjunto de informações sobre o desempenho dos alunos na resolução de problemas envolvendo conhecimento de representação química (fórmula e estrutura), distribuição eletrônica, nomenclatura, polaridade de ligações, temperatura de ebulição e solubilidade. Desses resultados, observou-se um aumento significativo no desempenho após os alunos terem participado de atividades com ferramentas de visualização. Diversos outros incrementos no entendimento de conceitos de Química Orgânica, na habilidade de transformar formas de representação e no entendimento de propriedades e estruturas foram constatados nas entrevistas (GIORDAN, 2006). Logo, é lógico pensar-se que elas se revelam de grande utilidade no ensino de Bioquímica e, particularmente, de enzimologia.

As novas tecnologias de informação proporcionam vastas possibilidades na utilização de ferramentas que exploram a percepção visual e, particularmente, animações. Contudo, a concepção destas ferramentas deve observar cuidados especiais visando assegurar sua eficácia. As ferramentas eficazes devem mostrar a complexidade dos objetos envolvidos em um dado processo, ilustrar como e onde estes objetos interagem, providenciar uma representação espacial das moléculas durante o processo e suavemente representar os estados de transição pelos quais passa o objeto durante o processo (MCLEAN, 2004). Só desta forma elas ajudam os estudantes na construção de modelos conceituais aproximados à verdade científica atual.

## **1.2. Breve Histórico Sobre o Conhecimento das Enzimas**

A história do conhecimento das enzimas é bem ilustrativa de como o conhecimento científico se gera: uma construção gradual, evolutiva, resultante da dedicação e empenho de cientistas, um exemplo de colaboração entre pessoas e/ou grupos e instituições permeado por controvérsias e polêmica que se baseia sobretudo no método experimental meticuloso. O conhecimento científico não é uma verdade imutável, cristalizada em si mesmo mas, antes, uma verdade que evolui, se modifica e aceita agregados, desde que convenientemente testados. A história que se segue retrata somente os momentos mais relevantes e destaca as personalidades (cientistas) que se distinguiram na edificação do conhecimento sobre enzimas.

### **1.2.1. Primórdios do conhecimento sobre enzimas**

As primeiras referências à ocorrência de fatores eventualmente capazes de acelerar reações químicas em entes biológicos remontam a uma época em que o conhecimento biológico estava demasiado marcado pela filosofia do *vitalismo*, segundo a qual os seres vivos estavam dotados de uma “força vital” (misteriosa!?) que os diferenciava dos seres inanimados

(GUPTA, 2000). Para os defensores desta filosofia, o entendimento da natureza e do funcionamento dos seres vivos se esgotaria na compreensão do vitalismo enquanto força ou propriedade intangível. As idéias *vitalistas* ofuscavam as idéias que procuravam entender os fenômenos biológicos intrínsecos a partir de pontos de vista diferentes. É neste contexto adverso que Berzelius e na seqüência de trabalhos de pesquisa que vinha conduzindo desde 1823, propôs, em 1835, o termo *catalysis* (catálise) para se referir á fatores que a seu ver seriam capazes de acelerar reações químicas, tanto orgânicas como inorgânicas (FRIEDMANN, 1997; SEGAL, 1959). Para Berzelius, os fatores capazes de acelerar reações em seres biológicos eram similares aos catalisadores químicos sugerindo que aqueles podiam ser considerados catalisadores especiais na medida em que eram formados pelas células (SEGAL, 1959). Esta hipótese postulada por Berzelius colidia com as teorias vitalistas da época e foi, por isso mesmo, objeto de polêmica e controvérsia. Porém, trabalhos que se seguiram vieram confirmar o quanto ele estava certo.

A descoberta das enzimas está intimamente relacionada às várias pesquisas desde muito cedo desenvolvidas para desvendar os mistérios do processo de fermentação (CORNISH-BOWDEN, 1999; BARNETT, 2003 SCHLENK, 1997). Como processo, a fermentação é conhecida desde os primórdios da humanidade e foi utilizada, por exemplo, na obtenção de bebidas fermentadas e fabricação de pão (PANEK, 2003; KIRK, 2002); porém, apenas no final do século XVIII (1789), por meio de Antoine-Laurent Lavoisier, cientista francês, se passou a saber que durante este processo o açúcar se decompunha em gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e etanol (BARNETT, 2003).

Alguns anos mais tarde, Gay-Lussac foi capaz de mostrar que o peso do açúcar era quase exatamente igual à soma dos dois produtos de fermentação. Posteriormente, a constatação de que o processo de fermentação estava ligado à existência de leveduras abriu caminho a que se tornasse claro a ocorrência de catalisadores biológicos, **as enzimas**, bem

como seu papel fisiológico. Para tanto, foi determinante a descoberta quase em simultâneo por Cagniard-Latour, Theodore Schwann e Friedrich Kützing de que as leveduras eram seres vivos vegetais (CORNISH-BOWDEN, 1999; BARNETT, 2003; SCHLENK, 1997; FRIEDMANN, 1997; BUCHNER, 1907). A fermentação passou, então, a ser vista como resultado de atividade “vital” de microorganismos. Esta asserção foi recebida com muitas reservas nos meios científicos da época, como já referimos, muito marcados pelo vitalismo, e mereceu rejeição, nalguns casos surpreendente, por influentes cientistas da época como Justus von Liebig e Whöler e, até mesmo, de Jöns Berzelius. Este último não se coibiu de apelidar o novo conceito de verdadeira ficção científico-poética (BUCHNER, 1907; FRIEDMANN, 1997; BARNETT, 2003). Os fatos, porém, viriam mais uma vez se impor e, pouco a pouco, o conceito foi ganhando mais adeptos obrigando os céticos a reverem suas posições.

Na década de 50 do século XIX, os trabalhos de Louis Pasteur sobre fermentação vieram dissipar definitivamente todas as dúvidas. Publicados apenas em 1860, os trabalhos de Pasteur afirmavam de forma inequívoca que a fermentação era um processo fisiológico (BARNETT, 2003). Nesta altura, aqueles influenciados pelas abordagens químicas anteriores de Berzelius e von Liebig estavam em conflito com os emergentes *biólogos* seguidores de Schwann, agora representados por Pasteur. Os químicos interpretavam as alterações produzidas pelos microorganismos em termos de catálise e deram origem à enzimologia; por seu turno, os *biólogos* deram origem à microbiologia fisiológica (BARNETT, 2003).

Reconhecidas as leveduras como seres biológicos vegetais e estabelecida a fermentação como fenômeno fisiológico inerente à vida destes seres, o foco do debate deslocou-se para outra questão: as alterações observadas na fermentação e processos biológicos similares poderiam ser atribuídas a atividades intracelulares dos microorganismos ou a fatores extracelulares? Várias evidências emergiam no sentido de responder à questão. Por exemplo, Moritz Traube postulava que existiriam nos microorganismos certos compostos

químicos capazes de causar fermentação (BUCHNER, 1907). Substâncias similares, quimicamente muito ativas, haviam já sido assinaladas em diferentes ocasiões em organismos vegetais e animais, por exemplo, a diastase na cevada em germinação, capaz de converter o amido em açúcar, a pepsina ou peptase, encontrada no suco gástrico por Schwann, capaz de digerir proteínas coaguladas, entre outros (SEGAL, 1959).

Entretanto, no centro do debate e polarizando todas as atenções estavam dois cientistas franceses: Louis Pasteur e Pierre Berthelot. Enquanto o primeiro cautelosamente se recusava a apontar a existência de substâncias quimicamente ativas em leveduras, Berthelot, através de intensas pesquisas, atribuía a capacidade de fermentação à invertase, substância que acabara de isolar de extratos de levedura de cerveja. Conclui dizendo que a fermentação não resulta da ação da levedura em si, mas sim, de “fermentos” que ela é capaz de secretar, ou seja, substâncias quimicamente ativas produzidas por microorganismos e atuando extracelularmente (BARNETT, 2003).

Desta discussão resultou grande confusão em determinar se os fermentos eram os próprios microorganismos ou se existiriam substâncias produzidas por estes que atuavam de forma independente como fermentos. Frequentemente, o termo era utilizado de maneira confusa para designar ambas as coisas. Alguns chegaram a propor a existência de fermentos *organizados* para se referir às leveduras, e fermentos *não organizados* para se referir às substâncias quimicamente ativas atuando isoladamente.

Foi para eliminar esta confusão que Wilhelm Kühne propôs, arbitrariamente, o termo *enzima* (do grego *en zyme* - dentro da levedura) para designar substâncias químicas produzidas por microorganismos que têm propriedades catalíticas (SEGAL, 1959). Referia-se, portanto, tanto aos designados fermentos organizados como não organizados agora reunidos em um único termo.

A prova definitiva de que as enzimas eram sintetizadas intracelularmente, podendo, entretanto, atuar independentemente dos organismos (extracelularmente), chegaria apenas em 1897 com os trabalhos de Eduard Buchner (FRIEDMANN,1997). Com efeito, este cientista após trabalho experimental laborioso foi capaz de demonstrar atividade enzimática em extratos de levedura desprovidos de células (*cell-free fermentation*) (BUCHNER, 1907). Essa foi a demonstração inequívoca da ocorrência de fatores que produzidos por organismos vivos eram capazes de atuar como catalisadores biológicos. Era a prova definitiva da existência de fermentos, ou, melhor dito, de enzimas. O trabalho de Buchner veio dar consistência às teses de Berthelot e, de certo modo, por um fim ao arrastado debate que o opôs a Louis Pasteur. Apesar da resistência inicial, o termo enzimas foi gradativamente sendo aceito e consagrado pela literatura científica.

### **1.2.2. As enzimas e sua natureza biológica**

Apesar dos estudos acima mencionados terem demonstrado claramente a ocorrência de enzimas e de outros, como por exemplo, de Emil Fischer (1894), terem trazido subsídios importantes acerca de seu modo de funcionamento, a natureza químico-biológica das enzimas era ainda um mistério. Muitas enzimas foram sendo isoladas, mas, os conhecimentos da época e os recursos técnicos disponíveis impediam o esclarecimento a respeito de sua natureza química. Por exemplo, Spallanzani havia já demonstrado a existência de uma substância no suco gástrico capaz de liquefazer a carne; Fabroni, por seu turno, notou que o glúten derivado do grão era capaz de fermentar o amido, e, em 1830, Payen e Persoz extraíram do malte, por precipitação pelo álcool, uma substância capaz de hidrolisar o amido a que chamaram de *diastase* (em alguns meios este termo foi utilizado de forma genérica para designar as enzimas). Em 1831, Leuchs descreveu a ação da ptialina e Covirsat, a da tripsina no suco

pancreático; em 1836 Eberle e Schwann descobriram a pepsina no suco gástrico (NORTHROP, 1946; SEGAL, 1959).

Entre os trabalhos tendentes a demonstrar a natureza química das enzimas assinala-se o trabalho desenvolvido por Willstätter e seus colaboradores que conduziram à conclusão, errônea como hoje se sabe, de que as enzimas eram uma classe especial de compostos de natureza não conhecida, mas, certamente, não eram proteínas (NORTHROP, 1946). A ênfase dada por Willstätter e colaboradores à natureza não protéica das enzimas tem sido apontada como um fator determinante no atraso do esclarecimento sobre a natureza química das enzimas.

Em 1896, Pikelharing isolou uma proteína do suco gástrico que ele considerou ser a enzima pepsina. Ele não foi, entretanto, capaz de cristalizar esta proteína e a sua conclusão relacionando esta proteína à enzima jamais foi aceita (NORTHROP, 1946). Em 1917, James Batcheller Sumner, que trabalhava com a urease para determinar o teor de uréia no músculo, sangue e urina, se propôs a isolar esta enzima e a determinar sua natureza química. Desenvolveu, então, estudos laboriosos buscando purificar esta enzima a partir da casca de feijão que se sabia ser rica em urease. Somente em 1926 que Sumner pode, finalmente, isolar cristais atribuíveis à urease e, perante a frieza das evidências, afirmar que a urease era uma proteína (NORTHROP, 1946; SUMNER, 1946, SEGAL, 1959). Em outras palavras, significava dizer que as enzimas eram proteínas, contrariando os achados de Willstätter.

À semelhança de outros grandes achados científicos, os de Sumner não foram imediatamente aceitos pela comunidade científica, tendo a oposição vindo essencialmente dos seguidores de Willstätter. Como os fatos vieram demonstrar, este achado de Sumner, ao revelar a natureza protéica das enzimas, tornou-se inexoravelmente um marco histórico nesta longa história do conhecimento das enzimas. As dúvidas que teimavam em persistir viriam a ser dissipadas com os trabalhos posteriores de John H. Northrop (NORTHROP, 1946) que

permitiram isolar e revelar a natureza protéica de outras enzimas como a tripsina e a quimotripsina, permitindo generalizar os achados de Sumner. Hoje se sabe que alguns catalisadores biológicos são, na verdade ácidos ribonucléicos (ribozimas) mas, ninguém questiona a natureza protéica das enzimas perante tantas evidências.

### 1.2.3. Enzimas e Estudos Cinéticos

A medida quantitativa da velocidade de uma reação química e a derivação de equações químicas para sua expressão foi realizada pela primeira vez pelo físico alemão Wilhelmy, por volta de 1850, quando estudava a rotação da sacarose com um polarímetro (SEGAL, 1959). Nesta altura, o polarímetro era já um instrumento familiar, e a mudança na rotação da sacarose ácida com o tempo era bem conhecida. Esta reação e este método se prestavam bem a estudos cinéticos, na medida em que o curso do processo ao longo do tempo podia ser seguido com precisão e de forma continuada sem perturbar o meio de reação. Foi assim que Wilhelmy estabeleceu e integrou a equação de primeira ordem da velocidade de reação:

$$J = \frac{dZ}{dt} = MZS \quad (\text{eq. 1})$$

onde os termos  $Z$  é a quantidade de reagente presente no tempo  $t$ ,  $M$  é a constante de velocidade e  $S$ , a quantidade de ácido presente. Equação integrada sendo:

$$Z = Z_0 e^{-MSt} \quad \text{ou} \quad \log Z_0 - \log Z = MSt \quad (\text{eq. 2})$$

Guldberg e Waage propuseram que o estado de equilíbrio de uma reação química representa o estado no qual há igual tendência de reação, tanto no sentido direto como no sentido inverso. Eles especificaram que esta tendência de reação é proporcional às concentrações das substâncias reativas. Daí, eles deduziram que no estado de equilíbrio a taxa

do produto das concentrações dos reagentes no sentido direto e inverso é uma constante, e que a extensão e mesmo a direção da reação depende das concentrações iniciais. Eles assinalaram que, caso o valor da constante fosse determinado, se poderiam calcular as concentrações finais no estado de equilíbrio a partir das concentrações iniciais dos reagentes. Esta asserção aumentou o interesse dos cientistas da época pelos estudos cinéticos das reações químicas e, deste modo, Berthelot, Harcourt e Esson procuraram por meio de equações empíricas expressar a relação entre a taxa de reação e a temperatura (SEGAL, 1959).

Em 1890, Cornelius O'Sullivan e F. W. Thompson publicaram um destacável artigo científico intitulado "*Invertase: a Contribution to the History of an Enzyme or Unorganized Ferment*" (SEGAL, 1959; CORNISH-BOWDEN, 2001). Eles descobriram, eventualmente, após centenas de experimentações, que se a quantidade de ácido necessária para conseguir o máximo de atividade fosse determinada para cada preparação e concentração de enzima, resultados perfeitamente comparáveis entre os diferentes experimentos são obtidos, em que a atividade enzimática é proporcional à concentração da enzima. A conclusão final a que chegaram O'Sullivan e Thompson foi a de que a conversão da sacarose pela invertase segue a lei de ação de massas (SEGAL, 1959). J. O'Sullivan repetiu esses mesmos experimentos usando leveduras íntegras e obteve os mesmos resultados, ou seja, sob determinadas condições a constante de velocidade da reação de 1ª ordem permanece inalterável no decurso da reação (SEGAL, 1959).

Herzog estudou a fermentação da glicose e frutose medindo a produção de CO<sub>2</sub> e também obteve, aproximadamente, uma cinética de 1ª ordem no decurso da reação em alguns experimentos. Entretanto, tal como nos estudos de J. O'Sullivan, houve uma relação inversa entre a constante de velocidade de 1ª ordem calculada e a concentração inicial de açúcar (SEGAL, 1959).

Duclaux propôs que dois efeitos deveriam ser considerados, em primeiro lugar, que a reação catalisada por enzima era por si só independente da concentração do substrato e procedia de acordo com a seguinte equação de velocidade:

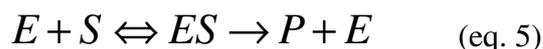
$$\frac{dx}{dt} = K \quad (\text{eq. 3})$$

isto é, uma equação de ordem zero. Em segundo lugar, que havia um efeito inibidor dos produtos, que ele propôs, de maneira arbitrária, como sendo dependente da razão entre a quantidade de produto e a concentração inicial de substrato.

Porém, a aplicação dos estudos cinéticos ao caso particular das reações enzimáticas tem sido atribuída a Adrian Brown que em 1902 investigou as velocidades de hidrólise da sacarose pela enzima  $\beta$ -frutofuranose de levedura:



Brown observou que quando a concentração de sacarose é muito maior que a da enzima, a velocidade de reação torna-se independente da concentração, isto é, de ordem zero em relação à sacarose (CORNISH-BOWDEN, 2001, p. 20). Ele propôs, então, que a reação global seria composta por duas reações elementares, nas quais, o substrato forma um complexo com a enzima que se decompõe em seguida em produtos e enzima:



sendo E a enzima; S o substrato; ES o complexo enzima-substrato e P o produto.

A equação 5 foi seguidamente desenvolvida por outros pesquisadores como Henri até que, em 1913, Michaelis e Menten, se beneficiando de avanços tecnológicos como

medições confiáveis do pH e utilização de tampões, estabeleceram a forma da equação que marca a moderna enzimologia (CORNISH-BOWDEN, 2001, p 21):

$$V_0 = \frac{V_{\max} \cdot [S]}{K_m + [S]} \quad (\text{eq. 6})$$

onde  $V_0$  é a velocidade inicial;  $V_{\max}$  é velocidade máxima;  $K_m$  é a constante de Michaelis-Menten e  $[S]$  a concentração do substrato.

### 1.3. Questões Atuais em Enzimologia

Um aspecto que desde cedo tem desafiado os cientistas em relação às enzimas é seu elevado poder catalítico e sua refinada especificidade. Entende-se que compreender estes dois aspectos da atividade catalítica das enzimas é crucial para se obter uma compreensão mais profunda e clara do funcionamento destes fatores biológicos. São duas as abordagens que vêm sendo desenvolvidas com este propósito. Uma é aquela que visa entender os aspectos energéticos inerentes à atividade catalítica, já que o efeito catalítico é resultado direto da capacidade do catalisador em diminuir a energia de ativação de uma determinada reação. Outra é aquela que se prende aos aspectos estruturais, tais como, o papel dos diferentes resíduos na ligação do substrato à enzima, e na catálise, o papel da macromolécula como um todo e os efeitos dinâmicos da molécula na atividade catalítica. Evidentemente, estas abordagens não podem ser encaradas como compartimentos estanques, pelo contrário, os melhores resultados têm advindo da compatibilização de estudos nestas duas áreas, já que entre ambas existe um grau extenso de continuidade.

As enzimas usam múltiplos mecanismos em sua atividade catalítica. Por exemplo, alguns sítios ativos tomam vantagem da acumulação de carga no estado de transição para reforçar as interações eletrostáticas enquanto outros aproveitam a dispersão de carga para estabilizar o estado de transição em uma bolsa apolar, enfim, cada enzima usa uma

combinação de estratégias para realizar sua atividade catalítica (KRAUT, 2003). Os resíduos catalíticos e de ligação não atuam isoladamente, ou seja, não são independentes uns dos outros. Todos contribuem para a ligação do substrato à enzima e para a catálise. A catálise associada à remoção e doação de prótons não é apenas uma função do resíduo que aceita ou doa o próton; está conectada às propriedades dos resíduos ao redor do doador ou aceitador de próton que determinam o posicionamento e potencial eletrostático (KRAUT, 2003). Uma vez que múltiplas interações influenciam uma determinada estratégia catalítica, é muito difícil estabelecer a contribuição específica de cada resíduo na estratégia catalítica (PERACCHI, 2001, KRAUT, 2003). Além disso, as enzimas usam muitos tipos de estratégias catalíticas interconectadas entre si, tornando difícil estabelecer o peso energético de cada uma delas. Em resumo, enquanto que é possível atribuir a participação química de um dado resíduo na catálise, a capacidade do resíduo atuar depende, na verdade, de sua vizinhança. Logo, a responsabilidade por uma determinada estratégia catalítica não pode ser atribuída a um único resíduo. Por isso, as estratégias catalíticas usadas por uma determinada enzima para viabilizar determinada reação química não são independentes uma da outra. Esta interdependência funcional e energética impede uma dissecação quantitativa da catálise enzimática em tipos de estabilização (KRAUT, 2003; PERACCHI, 2001).

Experimentos com substratos análogos estabeleceram claramente, a interconexão entre ligação e catálise. De modo geral, resíduos que quando sujeitos a mutação levam a um aumento do  $K_m$  são geralmente considerados como tendo um papel na ligação do substrato à enzima enquanto que resíduos que quando substituídos levam a uma diminuição do  $k_{cat}$  são tipicamente considerados como tendo um papel químico na catálise (KRAUT, 2003).

Jencks (*apud* KRAUT, 2003; NARLIKAR, 1998) considerou que as interações de ligação do substrato à enzima podem facilitar a transformação química. Elas ajudam no posicionamento do substrato em relação a um outro ou em relação a grupos funcionais na

enzima. Podem ainda reforçar eletrostaticamente ou desestabilizar estericamente interações no estado inicial que são aliviadas quando o substrato busca o rearranjo eletrônico e geométrico do estado de transição. Esta propriedade das enzimas com certeza estabelece a relação entre especificidade e catálise já que só o substrato apropriado estabelece as interações que levam à eficiência catalítica.

As enzimas são proteínas, embora alguns catalisadores biológicos sejam provenientes do que muitos consideram ter sido, anteriormente, um mundo dominado pelo RNA (FORTERRE, 2005; JOYCE, 2002). Por que o RNA perdeu proeminência neste terreno? A mais simples explicação é a de que as cadeias laterais do RNA não dispõem dos grupos funcionais que tendem a ser diretamente envolvidos em transformações químicas nos sítios ativos de proteínas enzimáticas, tais como o grupo carboxil do aspartato e do glutamato, o cátion da amina da lisina, o imidazol da histidina e o grupo sulfidrilo da cisteína. Por que razão estes grupos evoluíram para as proteínas e não para o RNA? Existem muitas respostas possíveis. Talvez a maquinaria metabólica não se tenha estruturado e adaptado para a síntese de ácidos nucleicos contendo tamanha diversidade de grupos funcionais ou, talvez, o RNA tenha sido evolutivamente constringido para não atuar simultaneamente como um depósito de informação e macromolécula funcional. Nenhum experimento ou abordagem em particular pode explicar porque as proteínas são os catalisadores biológicos, dada a complexidade desta questão e sua íntima relação com o processo evolutivo (KRAUT, 2003).

A catálise requer a estabilização preferencial do estado de transição em relação ao estado inicial. O termo “estabilização do estado de transição” é muitas vezes utilizado na literatura para referir interações eletrostáticas específicas que são reforçadas no estado de transição. Contudo, qualquer efeito que leve a uma catálise, por definição, resulta em estabilização do estado de transição. Ou seja, a estabilização preferencial do estado de transição em relação ao estado inicial não é um mecanismo catalítico mas, antes, um artifício

energético que resulta da teoria do estado de transição (KRAUT, 1988; KRAUT, 2003). A imprecisão no uso deste termo levou à confusão e desacordo, desnecessários, na literatura científica.

A estabilização do estado de transição não esgota a explicação para a catálise. Antes, ela especifica o grau de vantagem em uma reação comparativa e, por isso, enquadra todos os possíveis fatores catalíticos que vão desde a catálise geral ácido-base, passando pelas interações eletrostáticas diretas, até aos efeitos indiretos da matriz protéica que afetam as energias das interações eletrostáticas. As diferenças entre estado de transição e estado inicial podem ser divididas, pelo menos conceitualmente, em três áreas: alterações eletrostáticas, alterações geométricas e alterações na liberdade de movimento do substrato (KRAUT, 2003). Cada uma delas convive com a seguinte questão: a rigidez *versus* flexibilidade do sítio ativo e proteína envolvente é fundamental em todos os casos para determinar as capacidades e limitações das enzimas em retirar vantagens destas diferenças?

Uma característica dos mecanismos enzimáticos parece ser a ocorrência de vários estados conformacionais no decurso do processo catalítico. Com efeito, a capacidade para desenvolver vários estados conformacionais é uma característica exclusiva das macromoléculas. O papel destas alterações conformacionais no processo catalítico não está ainda totalmente esclarecido, mas são evidentes algumas possibilidades. Por exemplo, a estrutura pode ser otimizada em cada passo na seqüência de reação, geralmente através de sutis alterações conformacionais cooperativas; a ligação do substrato pode ser mais intensa por via de uma alteração na estrutura da enzima tal como pode ser exemplificado pelo modelo do encaixe induzido, e os substratos podem ser melhor orientados para uma catálise ácido-base ou eletrostática (HAMMES, 2002; KRAUT, 2003). Também o ambiente de reação pode ser marcadamente alterado: a água pode ser retirada do sítio ativo ou este reter apenas um número pequeno de moléculas de água. Esta situação cria, efetivamente, um meio dielétrico

baixo onde as interações eletrostáticas se intensificam e os valores de  $pK$  dos grupos ionizáveis podem ser significativamente alterados (BRUICE, 2000).

#### **1.4. Importância do conhecimento das enzimas**

Como anteriormente referimos, a atividade enzimática é um aspecto particularmente relevante da atividade celular e, por conseqüência, um aspecto biológico destacável. A compreensão da atividade enzimática se afigura deste modo como uma porta importante para a compreensão do funcionamento celular *lato sensu*. Por via do estudo das enzimas poderemos compreender melhor a relação entre a estrutura das macromoléculas e sua função, as interações intrincadas entre biomoléculas, a relação entre genoma, proteoma e metaboloma numa célula normal bem como as alterações patológicas que possam ocorrer e com isto compreender como modificar favoravelmente tais alterações (PLESNIAK, 2003). Com efeito, é ao nível de enzimas, tanto de agentes patológicos como do hospedeiro que atua grande parte da ferramenta farmacológica hoje disponível (VICARIO, 1997). Só isso nos permite afirmar que nenhum estudo farmacológico pode ser desenvolvido sem que se entenda o essencial da cinética enzimática.

No momento em que o genoma se converteu praticamente em um livro aberto, abrindo caminho a uma melhor compreensão da sua interface com o proteoma e as interações deste entre si e com o metabolismo, implica que os fundamentos sobre teoria enzimática se fixem melhor na estrutura de raciocínio dos estudantes, futuros praticantes e pesquisadores nas áreas biológicas e só desse modo permanecerão patentes as vias que permitirão o alargamento do conhecimento biológico a favor da humanidade.

A grande freqüência de artigos científicos em revistas especializadas sobre o ensino da temática enzimática sugere que este é ainda um tema de grande interesse em Bioquímica e é

ainda alvo de fervoroso debate entre os educadores sobre as formas de melhor ensinar o seu conteúdo. A procura de instrumentos didáticos aperfeiçoados para o ensino/aprendizagem deste tópico se afigura, dessa forma, como imperativa.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos desta dissertação foram:

- O desenvolvimento de uma ferramenta didática baseada na internet em língua portuguesa, sobre enzimas, destinada a alunos de graduação dos cursos que abordam o tema, principalmente da área de Ciências Biológicas.
- Avaliação da ferramenta por alunos de graduação, de pós-graduação e por professores que desenvolvem o tema “enzimas” em seus cursos.

### 3. METODOLOGIA

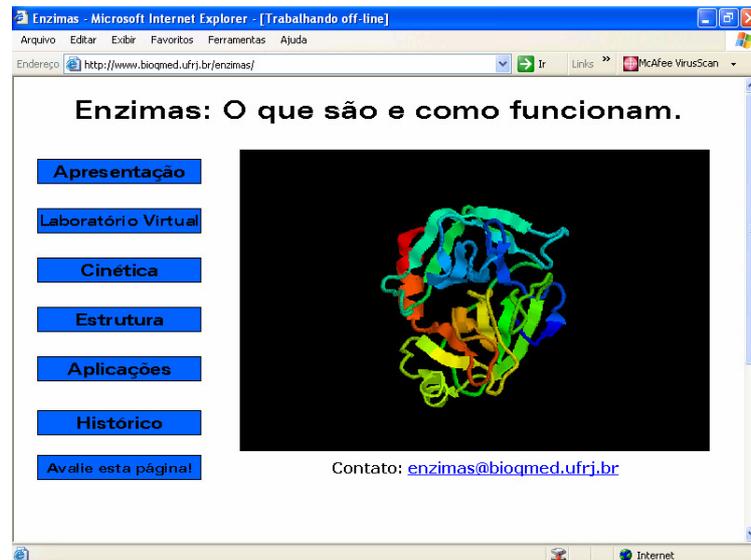
#### 3.1. Desenvolvimento da Página “ENZIMAS”

O desenvolvimento da página “ENZIMAS” ([www.bioqmed.ufrj.br/enzimas](http://www.bioqmed.ufrj.br/enzimas)) foi uma realização conjunta dos integrantes do Laboratório de Biocalorimetria/IBqM/UFRJ, com destaque para o aluno de IC/Medicina Joaquim Leles que desenvolveu o espectrofotômetro virtual, o autor, e a Prof. M. Lucia Bianconi, orientadora do projeto. Foi igualmente importante a contribuição de outros alunos do laboratório na realização dos experimentos de cinética enzimática que foram incorporados ao laboratório virtual.

A página foi construída utilizando-se os recursos de edição do programa Microsoft FrontPage, sendo que a parte interativa do laboratório virtual foi feita com os recursos do Flash MX da Macromédia. A página pode ser acessada usando o navegador Microsoft Internet Explorer ou outros compatíveis com o sistema operacional Windows 98 e XP. Assim os recursos mínimos para acesso à página são o Windows 98 ou XP, o navegador Internet Explorer ou outro compatível com o Windows, e o Acrobat Reader, preferência para a versão 6.0.

A página “ENZIMAS” contém os diferentes itens sobre o tema que podem ser abordados em sala de aula. Está constituída das seguintes partes:

- **Página Inicial:** contém o título e os botões que permitem o acesso a outras partes da página, além de *links* para outras páginas de interesse (UFRJ, IBqM e Laboratório de Biocalorimetria); (Fig. 3.1)
- **Apresentação:** de modo resumido, explica os objetivos da página, como ela está constituída e a forma de acesso aos seus diferentes componentes. Disponibiliza, também, os questionários de avaliação da página para alunos de graduação e de pós-graduação;



**Figura 3.1.** Página inicial de “Enzimas”

- **Laboratório Virtual:** contém uma parte interativa da ferramenta (espectrofotômetro virtual) e informações sobre as enzimas utilizadas nos experimentos, bem como informação geral sobre fatores que influenciam a atividade enzimática, além de sua classificação. No espectrofotômetro virtual, os usuários têm a possibilidade de observar a cinética de reações catalisadas por diferentes enzimas (quimotripsina, tripsina e fosfatase alcalina). Esse espectrofotômetro virtual contém um banco de dados formado a partir de resultados obtidos em experimentos de cinética realizados no Laboratório de Biocalorimetria, IBqM/UFRJ. Essa ferramenta permite determinar a atividade das enzimas disponíveis, avaliando a influência de fatores como a concentração de substrato, concentração de enzima, temperatura, pH, bem como a presença de inibidores. O espectrofotômetro virtual foi desenvolvido por Joaquim Leles (IC/Medicina) utilizando recursos do Flash MX da Macromédia. O arquivo foi convertido para o formato HTML para permitir o acesso pela internet; (Fig. 3.2)
- **Cinética:** este *link* direciona a um estudo dirigido sobre cinética enzimática. É uma forma construtivista de abordagem do tema, em que se procura fazer com que, com leitura gradual

do texto e com colocação de questões, um estudante possa compreender aspectos relacionados ao modelo de Michaelis-Menten para tratamento de cinéticas enzimáticas. Os alunos são orientados a responder as questões que contêm respostas comentadas. Uma vez que o estudo dirigido demanda uma leitura muito atenta para que se entenda sua proposta, ele se encontra no formato PDF, pois este recurso é tido como aquele que melhor permite a leitura de textos em tela de computador.

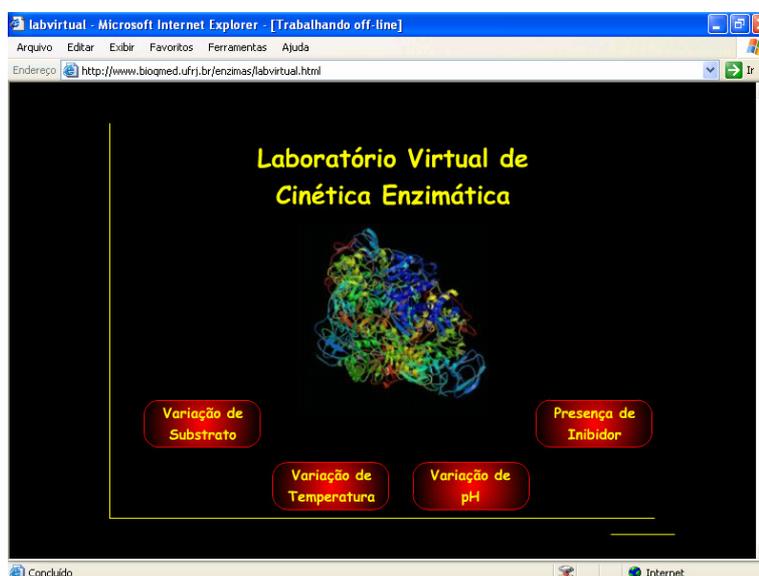


Figura 3.2. Espectrofotômetro virtual da Página “Enzimas”

- **Estrutura e função:** aborda aspectos relativos à estrutura e a função das enzimas. Está ilustrada com imagens retiradas da base de dados de proteínas (PDB). Persegue o propósito de reforçar a base teórica dos usuários na perspectiva de facilitar o entendimento da proposta da página.
- **Aplicações biotecnológicas:** retrata de forma resumida, a diversificação da utilização biotecnológica das enzimas em áreas como a indústria, medicina e farmacologia. Visa enfatizar a importância das enzimas em nosso cotidiano.

- **Histórico:** É uma parte com conteúdo essencialmente motivacional que visa, sobretudo, aumentar o interesse dos alunos pelo assunto. Nela, se enumeram datas importantes e cientistas que contribuíram de forma relevante para edificar o corpo de conhecimentos da moderna enzimologia. (disponível em: [www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e01/geschichte.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e01/geschichte.htm)).

### 3.2. Análise dos Acessos à Página “Enzimas”

Os acessos à página Enzimas foram controlados através do contador Shinystat disponível gratuitamente na internet ([www.shinystat.com](http://www.shinystat.com)) que fornece dados como o número de visitas diárias, países de onde ocorreram as visitas, navegador e sistema operacional utilizados pelos usuários. Os acessos foram computados a partir de 18 de outubro de 2006, quando iniciamos a avaliação da página.

### 3.3. Avaliação da Página “Enzimas”

A avaliação da página “Enzimas” ocorreu no período de 18 de outubro a 30 de novembro de 2006. Foram distribuídos questionários a alunos de graduação, pós-graduação e professores de ensino superior (Anexos 1 a 3). Os questionários contêm questões que permitem uma análise qualitativa da página. A primeira parte consiste em questões que permitem uma caracterização da amostra tais como a idade do avaliador, o curso e forma de acesso à internet.

A segunda parte do questionário contém 4 questões e diz respeito a aspectos relativos à página. As questões se apresentam nos moldes da escala de Likert (LIKERT, 1932), devidamente adaptada. A escala de Likert é uma escala psicométrica que se destina essencialmente à avaliação de atitudes. Nela, apresenta-se ao inquirido uma afirmação à qual ele assinala numa escala, geralmente de 1 a 5, o seu grau de concordância, sendo o grau 1

relativo à discordância absoluta, o grau 2, à simples discordância, o grau 3, uma posição neutra, o grau 4, à simples concordância e o grau 5, à concordância absoluta. Existem várias adaptações à escala originalmente desenvolvida por Rensis Likert em 1932, dependendo dos objetivos e desenho de cada pesquisa. Os dados obtidos deste tipo de questionário podem ser analisados de diferentes formas. Uma das formas de se analisar os dados é através da soma destes valores que permite que eles sejam tratados como um intervalo de dados medindo uma variável latente. Nesses casos, testes estatísticos paramétricos como a análise da variância (ANOVA), por exemplo, podem ser utilizados para efeitos de análise estatística. A forma utilizada neste trabalho para a análise das questões, foi o cálculo das médias e desvios padrões das respostas obtidas.

No presente estudo a escala foi adaptada e construída de modo a solicitar aos avaliadores a atribuição de um valor de 1 a 5 para aspectos específicos. No caso das avaliações por estudantes de graduação e de pós-graduação, essas notas foram dadas para: (i) o grau de dificuldade encontrado no entendimento da proposta da página (1 = muito difícil; 5 = muito fácil), (ii) influência no conhecimento prévio sobre enzimas (1 = nenhuma influência; 5 = muita influência) e (iii) avaliação geral da página (1 = nunca; 5 = com certeza ou 1 = ruim; 5 = ótimo, conforme o caso). Algumas adaptações nos sub-itens foram realizadas nos questionários de alunos de pós-graduação (Anexo 2).

O teste ANOVA (*Analysis of Variance*) foi aplicado por permitir a análise estatística entre diferentes grupos. O ANOVA é considerado um teste adequado para comparar médias entre duas ou mais populações (dois ou mais grupos). Esse teste compara as médias de grupos analisando comparações da variância. Baseia-se no fato de que duas estimativas independentes da variância da população podem ser obtidas dos dados da amostra: a variação de grupo para grupo e a variação dentro de cada grupo. A razão entre estas duas estimativas da variância dá o valor de F. Considerando que a hipótese nula assume que as médias entre os

grupos são iguais, nesta situação, ambos os membros da equação seriam iguais e desta forma a razão entre ambos (F) seria igual a 1. Quanto maior do que 1 for esta razão, maior é a diferença entre os grupos. Usando os valores de F, pode-se estimar a probabilidade de que o resultado obtido se deva ao acaso. Se esta probabilidade é baixa ( $p \leq \alpha$ ) a hipótese nula é rejeitada. Quanto maior o valor de F, menores serão os valores de  $p$ . Se o valor de  $p$  é menor que o nível de significância  $\alpha$  (0,05) assume-se que as médias são significativamente diferentes. Se, pelo contrário, o valor de  $p$  é maior que o nível de significância  $\alpha$ , a hipótese nula é aceita, o que quer dizer que as médias observadas não são significativamente diferentes. No presente trabalho, para operacionalizar esta análise utilizamos o programa Origin 5.0 (MicroCal, Llc).

Participaram da avaliação, 117 alunos de graduação que responderam o questionário do Anexo 1. Para efeito da presente avaliação estes alunos constituíram três grupos distintos:

- Grupo I: Alunos de diferentes universidades brasileiras (Tabela 3.1), matriculados em cursos de regime presencial (n = 70).
- Grupo II: Alunos do curso de Ciências Biológicas do CEDERJ, que oferece cursos em regime semi-presencial (n = 24).
- Grupo III: Alunos da Faculdade de Medicina da Universidade de Angola, que oferece curso em regime presencial (n = 23).

**Tabela 3.1: Graduandos de Universidades Brasileiras que Participaram da Avaliação da  
Página “Enzimas” (Grupo I) (n =70)**

<b>Curso</b>	<b>Universidade*</b>	<b>n</b>
Fisioterapia	UFRJ	12
Ciências Biológicas	UFRJ	6
Biomedicina	UFRJ	4
Farmácia	UFRJ	1
Fonoaudiologia	UFRJ	1
Nutrição	UNIFOA	8
Farmácia	UNIFOA	1
Medicina	UNIFOA	1
Ciências Biológicas	UNIGRANRIO	4
Biomedicina	UFPE	1
Biomedicina	Universidade Ibirapuera	1
Ciências Biológicas	UNICAMP	1
Agronomia	UFRRJ	18
Engenharia Florestal	UFRRJ	2
Ciências Biológicas	UFRRJ	1
Medicina Veterinária	UFRRJ	1
Zootecnia	UFRRJ	1
Lic. Ciências Agrícolas	UFRRJ	4
Economia Doméstica	UFRRJ	2

\*UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro; UNIFOA, Universidade Fundação Osvaldo Aranha (Volta Redonda); UNIGRANRIO, Universidade do Grande Rio; UFPE, Universidade Federal de Pernambuco; UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas; USP, Universidade de São Paulo; UFRRJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Os alunos não foram discriminados quanto ao gênero já que a maior parte dos estudos relacionados não tem encontrado diferenças ligadas ao gênero (HSU, 2006; ÇEPENI, 2006). A idade dos alunos de graduação que participaram do processo de avaliação variou de 18 a 28 anos (Grupo I), de 18 a 44 anos (Grupo II) e de 20 a 31 anos (Grupo III). A Tabela 3.2 traz a média das idades destes alunos. A análise estatística revelou uma diferença significativa entre os três grupos ( $F = 17,75515$ ;  $p = 1,93 \times 10^{-7}$ ), ao passo que os grupos II e III são semelhantes ( $F = 0,46008$ ;  $p = 0,50106$ ).

**Tabela 3.2: Média de Idade dos Alunos de Graduação que Participaram da Avaliação da Página “Enzimas”**

<b>Grupo</b>	<b>Média de idade*</b>	<b>n</b>
I – Presenciais, Brasil	21,2 ± 6,5	70
II – CEDERJ, Brasil	26,2 ± 5,9	24
III – Medicina, Angola	25,1 ± 8,7	23

\*Valores médios e o desvio padrão das idades dos alunos participantes

Os alunos de pós-graduação (Mestrado e Doutorado) que participaram da avaliação responderam o questionário do Anexo 2. Foram 17 pós-graduandos com uma média de idade de  $26,6 \pm 1,8$  anos, dos quais 4 mestrandos e 13 doutorandos. Estes alunos eram de diferentes cursos de pós-graduação de universidades brasileiras (tabela 3.3).

**Tabela 3.3: Pós-graduandos segundo a universidade/instituto e curso que freqüentam**

Nível	Curso	Universidade/Instituto	n
Mestrado	Bioquímica	UFPE	2
Mestrado	Física Biomolecular	USP/IF – S. Carlos	1
Mestrado	Química Biológica/PEGeD	UFRJ/IBqM	1
Doutorado	Química Biológica	UFRJ/IBqM	9
Doutorado	Física Biomolecular	USP/IF – S. Carlos	1
Doutorado	Física-Biofísica	USP/IF – S. Carlos	1
Doutorado	Físico-Química	UNICAMP	1
Doutorado	Bioquímica Agrícola	USP	1

\*UFPE, Universidade Federal de Pernambuco; USP, Universidade de São Paulo; UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro; UNICAMP, Universidade de Campinas; IBqM, Instituto de Bioquímica Médica; IF, Instituto de Física.

Foram, também, distribuídos questionários (Anexo 3) a professores do IBqM e externos que dão aulas sobre enzimas. Porém, a maioria dos professores contatados não estava disponível para uma avaliação formal. No total, foram 14 professores de diferentes universidades (UFRJ, UFF, UNICAMP, USP e UFPE) que avaliaram a página.

A questão final do questionário (3ª parte) foi a mesma para os três tipos de avaliadores (graduandos, pós-graduandos e professores) e pedia a “opinião geral sobre a página e sugestões que permitam melhorá-la”. As sugestões foram analisadas de acordo com o tipo de critério adotado pelo avaliador, tendo sido compiladas dentro de seis tópicos:

(1) Conteúdo, que contém comentários de todos os tópicos relacionados à teoria de cinética enzimática, incluindo o estudo dirigido;

(2) Aplicações Biotecnológicas;

- (3) Histórico;
- (4) Espectrofotômetro Virtual;
- (5) Questões de forma (visual da página; comentários sobre links e navegação, cores, erros de grafia entre outros).
- (6) Comentários gerais (qualidade geral da página)

As respostas foram analisadas quanto a serem positivas ou negativas para fins de compilação dos dados. As respostas negativas (aquelas que criticam algum dos fatores relacionados acima), foram consideradas para a atualização da página, realizada após o final da avaliação, como descrito em resultados.

Durante todo o período de avaliação, não foram realizadas modificações de conteúdo a fim de manter uma avaliação homogênea. As sugestões foram incorporadas apenas após a análise das avaliações.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Acessos à Página “Enzimas”

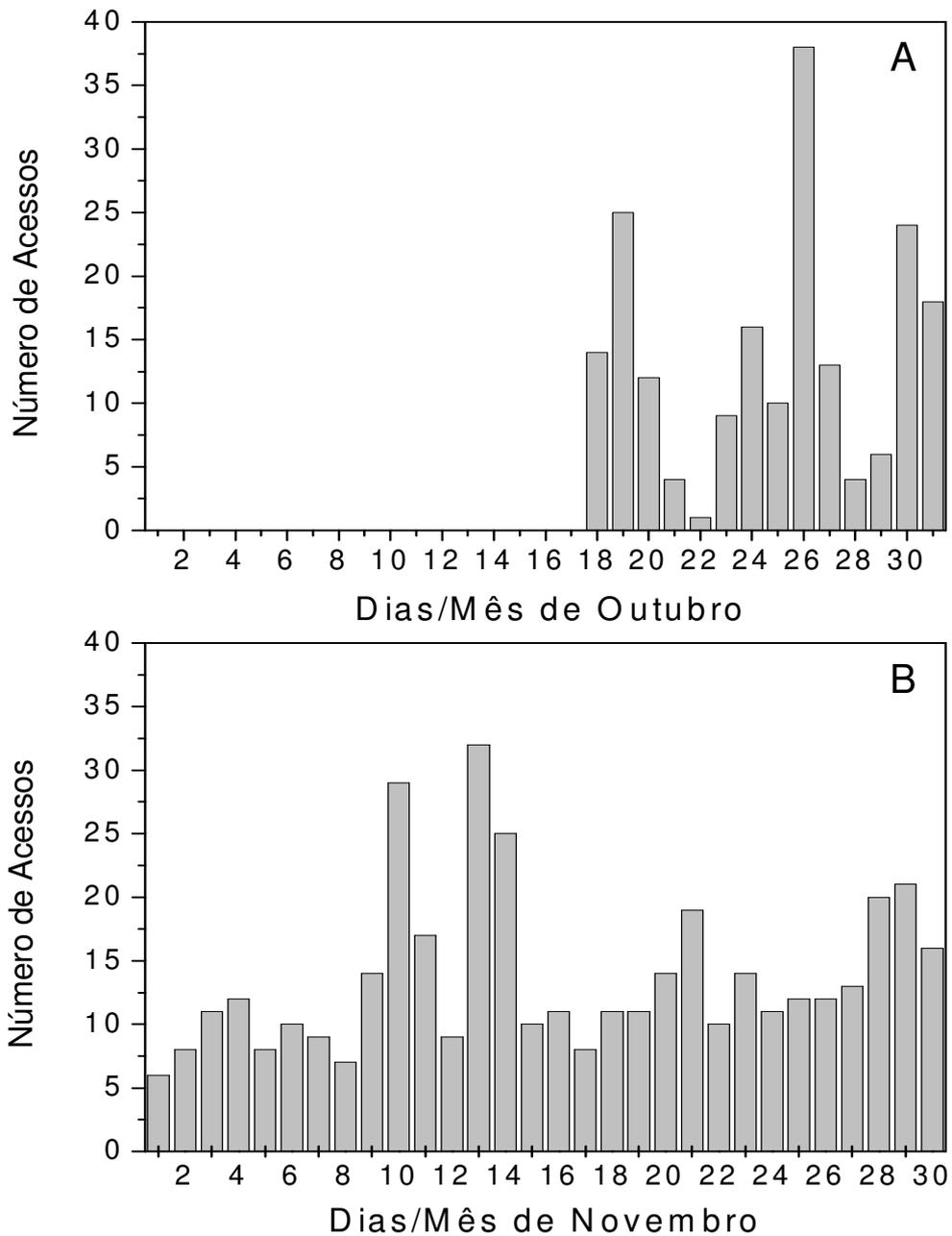
A monitoração dos acessos à página “Enzimas” tem sido feita através do uso de um contador grátis, oferecido pela ShinyStat ([www.shinystat.com](http://www.shinystat.com)). Por estarmos usando a versão grátis do contador, algumas falhas são observadas. Não é possível, por exemplo, saber o tempo gasto nas visitas e o IP de origem, o que permitiria fazer uma estatística quanto ao número e a frequência de visitas a partir do mesmo terminal, por exemplo. Apesar dessas limitações, através das informações oferecidas pela versão gratuita do programa pode-se perceber, indiretamente, a utilidade da página. As informações utilizadas neste estudo são referentes ao número de acessos diários e ao país de origem.

Para efeitos do presente trabalho estão contabilizados os acessos no período de 18 de outubro a 30 de novembro de 2006, quando as avaliações da página “Enzimas” foram realizadas. A contagem dos dias subsequentes continua sendo computada pelo grupo, a fim de avaliarmos sua utilidade, como comentado anteriormente.

Até o dia 30 de novembro de 2006, quando se encerrou a primeira etapa de avaliação, foram contabilizados 612 acessos à página, dos quais 193 ocorreram durante o mês de outubro e 419 no mês de novembro. Isso que representa uma média de 13,8 acessos diários em outubro e 14 acessos diários em novembro. No mês de outubro observa-se uma média diária em dias de final de semana (sábado e domingo) de quatro acessos diários, subindo para 17,8 em dias úteis; já no mês de novembro a média em dias de final de semana (11,5) é comparável àquela observada em dias úteis (14,9).

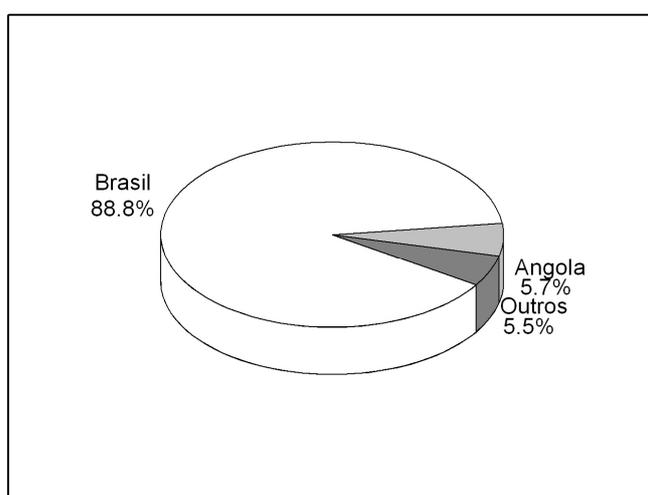
O número de acessos diários à página “Enzimas” durante o período de avaliação está mostrado na Figura 4.1. Podemos verificar que há uma grande variação no número de acessos diários, sendo que o número máximo foi verificado em 26 de outubro, com 38 acessos, seguido do dia 13 de novembro com 32 acessos. O menor número de acessos diários foi

observado em 22 de outubro 2006, com um único acesso, provavelmente por ter sido um domingo.



**Figura 4.1:** Acessos diários à página “Enzimas” durante o período de avaliação; A, acessos durante o mês de Outubro; B, acessos durante o mês de Novembro.

O contador Shinystat permitiu, também, monitorar o país a partir do qual o visitante acessa a página, como ilustrado na Figura 4.2. No período avaliado, constatamos que a maioria dos acessos (88,8%) são feitos a partir do Brasil. Angola, país de origem de estudantes que avaliaram a página, contou com 5,7% do total de acessos. Os acessos de outros países representam 5,5% do total de acessos sendo que, entre eles, figuram Portugal, Estados Unidos e Namíbia.



**Figura 4.2:** Acessos à página “Enzimas” de acordo com os países, durante o período de avaliação (18/10/2006 a 30/11/2006).

#### 4.2. Avaliação da Página por Alunos de Graduação

A página “Enzimas” foi avaliada por 117 alunos de Graduação da área Biológica. Devido ao fato de termos recebido avaliações de alunos do curso de Ciências Biológicas do CEDERJ, de caráter semipresencial, e de alunos de Angola, decidimos dividi-los em três grupos, a fim de compararmos se o perfil de cada grupo estaria influenciando na opinião sobre os diferentes fatores avaliados. Dessa forma, no Grupo I foram compiladas as opiniões de alunos de diferentes universidades brasileiras de regime presencial, no Grupo II estão as opiniões dos alunos do CEDERJ e no Grupo III, de alunos da Universidade de Angola, que

oferece curso em regime presencial. Na sec. 3.2 estão indicadas as diferentes Universidades de onde os alunos do Grupo I são provenientes.

Foram compiladas as médias das respostas ao questionário no que se refere aos aspectos relativos à página e estabelecidas comparações entre os diferentes grupos de estudantes, como referido em Metodologia (sec. 3.2). Os resultados estão apresentados de acordo com a subdivisão nos questionários de avaliação.

#### **4.2.1. Grau de dificuldade no entendimento da proposta da página**

O grau de dificuldade foi avaliado em seções específicas da página que requerem boa compreensão. Foram elas: Estrutura-função, Laboratório virtual, Espectrofotômetro virtual, Estudo dirigido de cinética enzimática, Aplicações biotecnológicas e Histórico.

Na análise do grau de dificuldade encontrada pelos alunos, utilizamos a escala de Likert adaptada aos nossos questionamentos (LIKERT, 1932). Dessa forma, foi solicitado aos alunos que dessem um grau de um a cinco, com o grau “um” representando o nível de compreensão “muito difícil” e “cinco”, o nível de compreensão “muito fácil”. Essa escolha se deve ao fato de considerarmos que a página deve ser de fácil entendimento ao aluno por se tratar de um apoio à distância ao aluno de graduação. Das respostas obtidas, calculou-se a média e o desvio padrão e, como descrito em Metodologia (sec. 3.2), a análise estatística que permitiu comparar os grupos foi realizada com o método ANOVA.

Os resultados relativos ao grau de dificuldade estão na Tabela 4.1. As notas atribuídas pelos alunos presenciais variaram de um a cinco em todos os tópicos. Aquelas dos alunos semipresenciais variaram de um a cinco para o laboratório virtual teórico e estudo dirigido de cinética enzimática, de dois a cinco para estrutura-função e aplicações biotecnológicas e de três a cinco para o espectrofotômetro virtual e histórico. As notas dos alunos Angolanos

variaram de dois a cinco para o laboratório virtual e estudo dirigido de cinética enzimática e de um a cinco para os demais tópicos.

Podemos observar que, de modo geral, os graduandos dos diferentes grupos não tiveram muita dificuldade em entender os diferentes tópicos da página “Enzimas”, com a média das opiniões variando de 3,2 a 4,3. A análise estatística mostrou que na maioria dos tópicos analisados não há diferenças significativas entre os grupos. A única diferença estatisticamente significativa foi encontrada para o tópico “Espectrofotômetro virtual”, ao qual os graduandos de Angola referem-se com maior dificuldade quando comparados aos presenciais Brasileiros ( $F = 4,90074$ ,  $p = 0,02934$ ) e também aos semipresenciais ( $F = 11,82957$ ;  $p = 0,001$ ).

Excetuando o Espectrofotômetro virtual, podemos dizer que, de uma forma geral, a página Enzimas apresentou tópicos de compreensão razoavelmente fácil para os graduandos, levando-se em conta que a maioria das médias verificadas foram maiores ou iguais a 3,5 (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1: Grau de dificuldade no entendimento da proposta da página (n = 117)**  
1 = muito difícil; 5 = muito fácil

Tópico	Graduandos		
	Presenciais n = 70	CEDERJ n = 24	Angola n = 23
Estrutura-função	3,9 ± 0,8	3,8 ± 0,7	3,7 ± 1,2
Laboratório virtual	3,8 ± 0,9	3,8 ± 1,2	3,5 ± 0,8
Espectrofotômetro virtual	3,8 ± 1,2	4,2 ± 0,6	3,2 ± 1,4*
Estudo dirigido cinética	3,5 ± 1,4	3,5 ± 2,0	3,7 ± 0,7
Aplicações biotecnológicas	4,0 ± 1,0	3,9 ± 0,8	3,6 ± 1,0
Histórico	4,3 ± 0,8	4,3 ± 0,5	4,1 ± 1,8

\*Os estudantes Angolanos referem maior dificuldade no entendimento do espectrofotômetro virtual, diferença estatisticamente significativa ( $F = 5,417$ ;  $p = 0,006$ ).

A página “Enzimas” foi construída de modo a que seus conteúdos se apresentassem de maneira fácil a seus destinatários, graduandos. Porém, verificamos que a maioria dos alunos (92,3%) teve um contato anterior, através de aulas, com o tema enzimas. Isso pode ser um fator facilitador para o entendimento da proposta da página. Um dos problemas ligados ao ensino de enzimas, muito provavelmente está relacionado à ausência de aulas práticas em laboratório. A pouca familiaridade com equipamentos de laboratório, eventualmente mais acentuada em estudantes Angolanos, poderia explicar a maior dificuldade assinalada por estes, no entendimento do tópico “Espectrofotômetro virtual”.

#### **4.2.2. Influência da Página “Enzimas” no Conhecimento Prévio dos Graduandos**

Neste tópico foi solicitado aos graduandos que se referissem ao grau de influência que os tópicos oferecidos na página tiveram em seu conhecimento prévio sobre enzimas. As seções avaliadas foram as mesmas descritas em 4.2.1.

Nos mesmos moldes da escala de Likert, consideramos o grau “um” como se referindo a “nenhuma influência” e o grau “cinco”, a “muita influência” nos conhecimentos prévios de cada tópico (Tabela 4.2). Os valores atribuídos variaram de um a cinco para todos os tópicos para os alunos presenciais. Para os semipresenciais variaram de um a cinco para os tópicos espectrofotômetro virtual, estudo dirigido e histórico e de dois a cinco para os restantes tópicos. Para os Angolanos variaram de um a cinco para o laboratório e espectrofotômetro virtual, de dois a cinco para estrutura-função, aplicações biotecnológicas e histórico e de três a cinco para o estudo dirigido.

De um modo geral, os alunos consideram que a página teve alguma influência, pois notamos uma tendência positiva (médias maiores que três) em seu conhecimento prévio sobre enzimas. Os alunos presenciais atribuem, entretanto, uma influência menor do laboratório

virtual, diferença que é significativa ( $F = 5,410$ ;  $p = 0,006$ ) quando estes são comparados tanto aos alunos semipresenciais quanto aos alunos Angolanos. Por seu turno, os alunos semipresenciais assinalaram maior influência das aplicações biotecnológicas, diferença significativa apenas quando comparados aos alunos presenciais ( $F = 8,395$ ;  $p = 0,005$ ).

**Tabela 4.2: Influência da página “Enzimas” no conhecimento prévio de graduandos**  
1 = nenhuma influência; 5 = muita influência

Tópico	Graduandos		
	Presenciais n = 70	CEDERJ n = 24	Angola n = 23
Estrutura-função	3,4 ± 1,5	3,8 ± 1,0	3,8 ± 0,6
Laboratório virtual	3,2 ± 0,9*	3,9 ± 1,0	3,7 ± 0,9
Espectrofotômetro virtual	3,3 ± 1,1	3,7 ± 1,5	3,7 ± 1,1
Estudo dirigido cinética	3,6 ± 1,0	3,6 ± 1,3	3,9 ± 0,5
Aplicações biotecnológicas	3,5 ± 1,2	4,3 ± 0,8**	3,7 ± 1,1
Histórico	3,4 ± 1,9	3,8 ± 1,3	3,8 ± 1,5

\* Alunos presenciais assinalam menor influência do laboratório virtual em seu conhecimento prévio sobre enzimas, diferença estatisticamente significativa ( $F = 5,410$ ;  $p = 0,006$ ).

\*\* Alunos semipresenciais assinalam maior influência das aplicações biotecnológicas, diferença estatisticamente significativa ( $F = 8,395$ ;  $p = 0,005$ ).

A percepção da influência que a página teve sobre o conhecimento prévio pressupõe, como ponto de partida, uma comparação entre o conhecimento adquirido com a visita à página e o conhecimento prévio, o que implica, desde já, certo engajamento cognitivo. Segundo Stoney e Oliver (1999; *apud* HEDE, 2002), o engajamento cognitivo é o processo pelo qual o aluno se torna motivado a tomar pleno controle do processo de aprendizagem. Vários fatores poderiam então influenciar este engajamento, entre eles, obviamente, a memória e fatores motivadores intrínsecos e extrínsecos. Estes fatores estabelecem entre si

conexões bastante complexas, o que faz com que a percepção da influência não seja uma variável simples de avaliar. Provavelmente se situem a este nível as razões capazes de explicar as diferenças aqui observadas.

#### **4.2.3. Aspectos da Avaliação Geral da Página “Enzimas”**

Os estudantes de graduação que avaliaram a página foram chamados a considerar alguns aspectos gerais da página. A escala de notas variou de acordo com a pergunta, obedecendo aos critérios: 1 = nunca e 5 = com certeza; ou 1 = ruim e 5 = ótimo. Parte dessa avaliação geral referia-se à utilidade da página (Tabela 4.3), uma outra parte referia-se a aspectos relacionados ao aspecto visual e à estrutura de navegação (Tabela 4.4) e, ao final, duas questões mais gerais quanto ao conteúdo e à pertinência no cotidiano foram apresentadas (Tabela 4.5).

Dessa forma, os alunos foram questionados sobre a possibilidade de utilização da página para seus estudos, a possibilidade de recomendar a colegas a utilização da página e, se acreditavam que ela poderia substituir a aula presencial. Os resultados estão na Tabela 4.3, não tendo sido encontrada qualquer diferença significativa entre as respostas dos três grupos. Foi possível constatar que os graduandos levam em grande conta a possibilidade de utilização da página para seus estudos e recomendariam de forma acentuada que seus colegas a utilizassem (Tabela 4.3). Porém, todos os grupos consideram negativamente a possibilidade da página substituir a aula presencial, já que as médias foram menores que “três” (indiferente).

Os graduandos tiveram uma percepção positiva da utilidade da página considerando-a como um suporte importante ao aprendizado, porém, nem mesmo os alunos semipresenciais admitem a possibilidade de ela substituir as aulas presenciais. Essa resposta foi, na verdade, aquela a qual estávamos esperando, já que a página foi criada como apoio ao aluno e não teve

intuito de substituir aulas presenciais. Ou seja, as respostas obtidas pressupõem que todos os grupos consideram que ela seja mais útil como material suplementar às aulas presenciais. No caso dos alunos semipresenciais, a página pode ser uma referência importante para as poucas sessões presenciais que servem essencialmente para tirar dúvidas.

**Tabela 4.3: Aspectos relacionados à utilidade da página “Enzimas” por graduandos**  
1 = nunca; 5 = com certeza

Tópico	Graduandos		
	Presenciais n = 70	CEDERJ n = 24	Angola n = 23
Utilizar a página para estudos	4,5 ± 0,9	4,8 ± 0,3	4,3 ± 0,9
Recomendar a colegas	4,7 ± 0,6	4,9 ± 0,1	4,6 ± 0,8
Substituir aula presencial	2,3 ± 1,6	2,4 ± 0,9	2,6 ± 1,8

Nas questões relacionadas à forma, os alunos foram solicitados a avaliar o seu visual e sua estrutura de navegação (*links*, botões de ação) atribuindo uma nota de um a cinco que equivalia a opiniões de “ruim” a “ótimo”. Como está mostrado na tabela 4.4, de modo geral, os graduandos consideraram esses aspectos da página positivos, com médias de valores aproximadamente iguais a quatro, não havendo diferenças significativas entre os diferentes grupos.

Apesar de alguns alunos terem feito referência a questões de forma na parte referente a comentários do questionário (sec. 4.3, mais adiante), apontando a heterogeneidade das fontes, seu tamanho e cores como deficientes e alguns *links* terem sido questionados quanto ao seu funcionamento e posicionamento na página, estes aspectos são aqui avaliados de forma bastante positiva. Pode-se inferir que a percepção visual do material exposto na página e a estrutura de navegação são favoráveis à exploração do conteúdo da página “Enzimas”.

**Tabela 4.4: Avaliação do visual da página e estrutura de navegação por graduandos**  
1 = ruim; 5 = ótimo

Tópico	Graduandos		
	Presenciais n = 70	CEDERJ n = 24	Angolanos n = 23
Visual da página	3,9 ± 1,2	4,0 ± 1,1	4,1 ± 0,8
Estrutura de navegação	4,0 ± 1,2	4,3 ± 1,0	4,0 ± 0,8

De igual modo, os graduandos foram solicitados a avaliar o conteúdo da página e a pertinência do tema abordado ao cotidiano (Tabela 4.5). Quanto ao conteúdo, de modo geral, os graduandos o consideraram positivo com médias superiores a quatro.

Em relação à pertinência do tema, embora de modo geral as referências tenham sido positivas, observa-se uma diferença que, apesar de pequena, é estatisticamente significativa ( $F = 3,756$ ;  $p = 0,03$ ) nas notas dadas pelos alunos presenciais, com um valor um pouco menos positivo (Tabela 4.5). Essa diferença estatística foi observada devido à diferença do número de alunos em cada grupo. Se considerarmos as médias e o pequeno valor de F, podemos perceber que são muito próximas, o que sugere que as opiniões não são muito diversas.

**Tabela 4.5: Avaliação geral do conteúdo e pertinência do tema por graduandos**  
1 = ruim; 5 = ótimo

Tópico	Graduandos		
	Presenciais n = 70	CEDERJ n = 24	Angolanos n = 23
Conteúdo	4,3 ± 0,9	4,5 ± 0,3	4,3 ± 0,7
Pertinência do tema	3,8 ± 0,9*	4,2 ± 0,4	4,3 ± 0,7

\*Alunos presenciais consideram menos pertinente o tema abordado pela página “Enzimas”, diferença estatisticamente significativa ( $F = 3,756$ ;  $p = 0,03$ ).

#### 4.2.4. Atribuição de Notas às Diferentes Seções da Página “Enzimas”

Solicitamos aos graduandos que atribuísem uma nota de um a cinco aos diferentes tópicos da página que consideramos essenciais, ou seja: espectrofotômetro virtual, estudo dirigido de cinética enzimática, aplicações biotecnológicas e histórico. Podemos observar pelos resultados da Tabela 4.6 que a avaliação foi positiva, pois as notas estão sempre acima da média. As notas variaram de um a cinco para todos os tópicos para os alunos presenciais. Em relação aos semipresenciais, variaram de quatro a cinco para o espectrofotômetro virtual e de três a cinco para os restantes tópicos. Já para os alunos Angolanos, a variação foi de três a cinco para o espectrofotômetro virtual e de dois a cinco para os demais tópicos avaliados.

**Tabela 4.6: Médias das notas atribuídas por graduandos a diferentes seções da página “Enzimas”**

Tópico	Graduandos		
	Presenciais (n = 70)	CEDERJ (n = 24)	Angolanos (n = 23)
Espectrofotômetro Virtual	3,9 ± 1,0	4,5 ± 0,3*	3,7 ± 0,3
Estudo Dirigido Cinética	4,0 ± 0,9	4,3 ± 0,4	4,0 ± 0,7
Aplicações Biotecnológicas	4,0 ± 1,0	4,6 ± 0,3**	4,2 ± 1,0
Histórico	3,9 ± 1,2	4,5 ± 0,4	4,1 ± 1,0

\*Alunos semipresenciais avaliam de forma mais positiva o espectrofotômetro virtual, diferença estatisticamente significativa ( $F = 6,264$ ;  $p = 0,003$ ) e as aplicações biotecnológicas\*\* ( $F = 3,434$ ;  $p = 0,03$ ).

Foi possível observar que o espectrofotômetro virtual mereceu referências mais positivas por alunos semipresenciais, havendo uma diferença significativa tanto quando comparados aos presenciais quanto aos alunos Angolanos ( $F = 6,264$ ;  $p = 0,003$ ). Não há diferença na nota atribuída ao espectrofotômetro virtual pelos alunos presenciais e por alunos

Angolanos. De igual modo, os alunos semipresenciais atribuíram nota maior às aplicações biotecnológicas, diferença estatisticamente significativa ( $F = 3,434; p = 0,03$ ).

As notas atribuídas às diferentes seções da página mostram também que os graduandos têm uma percepção positiva da página “Enzimas”. Contudo, o “Espectrofotômetro virtual” e as “Aplicações biotecnológicas” despertaram interesse maior em alunos semipresenciais. Provavelmente, fatores motivadores distintos estejam na base deste comportamento diferente entre alunos presenciais e semipresenciais.

### 4.3. Comentários e Sugestões por Graduandos

Na terceira parte do questionário, os avaliadores foram solicitados a emitirem livremente a sua opinião sobre a página e a contribuir com sugestões que permitissem melhorá-la. Como descrito em Metodologia (seç. 3.3), as sugestões foram analisadas e compiladas dentro de seis tópicos:

- *Conteúdo*, que contém comentários de todos os tópicos relacionados à teoria de cinética enzimática, incluindo o estudo dirigido;
- *Aplicações Biotecnológicas*;
- *Histórico*;
- *Espectrofotômetro Virtual*;
- *Questões de forma* (visual da página; comentários sobre *links* e navegação, cores, erros de grafia, entre outros).
- *Comentários gerais* (qualidade geral da página no geral).

Uma vez que a análise aos comentários é essencialmente qualitativa e se destina à coleta de sugestões visando fazer melhorias na página, decidimos fazer esta análise tomando os três grupos de estudantes em conjunto e não separadamente como na seção anterior.

Do total de 117 graduandos que responderam ao questionário, a maioria (84) preencheu a terceira parte do questionário com comentários e sugestões. No total, registramos 156 comentários diversos dos graduandos, dos quais 97 (62,2%) tiveram conotação positiva e 59 (37,8%), negativa. Os comentários de conotação negativa foram levados em conta visando introduzir melhorias na página Enzimas.

Parte dos comentários (26,3%) referem-se ao conteúdo, tendo sido 25 positivos e 16 negativos. Em relação ao conteúdo geral, as referências positivas foram aquelas que o classificaram como sendo “ótimo” (10 referências), com uma “linguagem como simples e de fácil compreensão” (6 referências) ou “muito didático” (2 referências). Outros comentários mais específicos também foram observados e a seguir, estão citados alguns dos comentários positivos relativos ao conteúdo da página:

*“... o estudo dirigido de cinética enzimática foi bem explicativo”.*

*“... o laboratório virtual é muito didático, enfatizando os principais aspectos relacionados á espectrofotometria e medição de velocidade de reações enzimáticas”.*

As referências negativas quanto ao conteúdo apontam, sobretudo, o estudo dirigido como difícil (4 referências) e as restantes indicam-no como insuficiente (12). Neste particular registramos comentários como:

*“... achei meio complicado de entender o estudo de cinética”;*

*“Gostaria que fosse mais explícito e exaustivo no campo laboratorial e cinética enzimática”.*

A página foi desenvolvida com o objetivo principal de mostrar como são realizados os experimentos de cinética enzimática em um laboratório, tendo sido, portanto, desenvolvido o espectrofotômetro virtual. Em uma avaliação prévia dessa ferramenta, alguns alunos de graduação sugeriram que fossem colocados textos explicativos sobre os diferentes efeitos estudados (concentração de substrato, concentração de enzima, efeito de temperatura, pH e inibidor). Dessa forma, a página foi ampliada para conter esses textos. Porém, é nosso

objetivo que a página se torne um apoio ao aluno fora da sala de aula. Neste sentido, ela não pretende substituir a aula presencial nem, tampouco, o livro didático. A explicação exaustiva e muito detalhada dos temas abordados, como sugerida por alguns alunos avaliadores, tornaria a página, em nossa opinião, tediosa e pouco atrativa. A inclusão de mais conteúdo deve, por isso, ser profundamente ponderada, tendo em conta estes aspectos.

Apenas dois comentários (1,3%) referem-se às aplicações biotecnológicas, um deles positivo e outro, um negativo:

*“... está muito bem explicada...”*

*“... sobre aplicações, acho que poderia ter se falado mais e talvez com mais detalhes”.*

Em relação ao histórico, recebemos três comentários (1,9%), sendo um deles positivo e dois negativos:

*“... o histórico... está bom, gostei de saber sobre a história cronológica da bioquímica”;*

*“... histórico... não acrescenta muito e nem estimula a leitura”;*

*“... a parte do histórico está muito detalhada... sendo pouco atrativa para um estudante de graduação”.*

Tanto o histórico quanto as aplicações biotecnológicas foram colocadas na página como curiosidades, para aumentar o interesse no assunto enzimas. Ambos os tópicos foram bem avaliados na seção 4.2.5, tendo recebido notas próximas de quatro. Talvez não tenham recebido a mesma importância dada pelos graduandos aos tópicos teóricos, que receberam cerca de 26% dos comentários, por se tratarem de curiosidades. Mesmo assim, as sugestões estão sendo levadas em conta na reformulação da página.

Os comentários referentes ao espectrofotômetro virtual foram 19 (12,2%), sendo 9 positivos e 10 negativos. Os comentários positivos tiveram uma conotação geral que não permitiram classificá-los em grupos, como pode ser observado nos exemplos que se seguem:

*“O espectrofotômetro virtual foi o que mais gostei na página, pois pude interagir e testar como se estivesse realmente fazendo um experimento. Está excelente”.*

*“... achei interessante o espectrofotômetro virtual que possibilita um aprendizado dinâmico com construção de conceitos”.*

Os comentários negativos apontam para a necessidade de sobrepor os gráficos para comparar os efeitos (4 referências); ou que poderia conter uma melhor explicação do seu funcionamento (4 referências); a possibilidade de tornar as linhas dos gráficos mais evidentes mediante o uso de cores (1 referência); e uma tecla para voltar ao início (1 referência). A seguir, alguns dos comentários:

*“... se tivesse a opção para colocar os efeitos um do lado do outro enfatizaria melhor a diferença”.*

*“... seria muito útil se houvesse um meio de sobrepor os resultados das medições de absorvância no próprio espectrofotômetro para comparação de velocidades em cada situação”.*

Em relação ao espectrofotômetro virtual, os comentários de conotação negativa foram capazes de apontar falhas que passaram despercebidas quando foi construída a ferramenta. Dessa forma eles foram extremamente importantes para a sua reformulação, processo que já vem sendo realizado.

As questões de forma foram aquelas que receberam mais críticas dos avaliadores. Pudemos observar apenas seis comentários positivos num total de 29 comentários. Os comentários positivos referem-se à cor de fundo das páginas, à parte gráfica e a organização da página em si. Eis alguns exemplos destes comentários:

*“As páginas claras ao fundo, facilitaram o estudo frente ao computador”.*

*“As fotos, as explicações, as correlações são bem abordadas sendo de extrema importância para o conhecimento científico, acadêmico e pessoal para cada um de nós”.*

Os comentários negativos relacionados às questões de forma referem-se, sobretudo a necessidade de tornar a página mais interativa e com mais animações, ao tamanho, cor e natureza das fontes; referem-se à necessidade da página ser mais ilustrada, por exemplo. Alguns alunos apontam erros ortográficos e falam da estética, de um modo geral, como um aspecto da página Enzimas a ser melhorado, como podemos ver nos exemplos que se seguem:

*“... tornar o visual da página mais atrativo, criando uma interface que seja o tempo todo interativa, até mesmo durante a exposição de conteúdos teóricos... o texto em HTML plano torna-se cansativo com o tempo”.*

*“... deveria melhorar a parte de imagens, pois muitos alunos aprendem com o estímulo de cores, fotos e não com páginas que têm pouco colorido”.*

É interessante notar que um aspecto apontado como positivo foi o fato de a página apresentar-se com um fundo branco, o que facilita a leitura e a torna menos cansativa. Como podemos perceber, o último exemplo dos comentários acima se refere justamente ao fato da ausência excessiva de cores como um aspecto negativo da página. Isso mostra que é bastante difícil conciliar estas questões relativas à forma (estética, principalmente), já que as opiniões dependem muito do gosto particular de cada um. É mais simples incluir modificações relativas à padronização de fontes ou inclusão de botões e de figuras interativas, por exemplo.

Os comentários gerais foram 62 (39,7%), dos quais 54 são positivos e 8, negativos. As referências positivas qualificam a página como sendo interessante, boa ou ótima (36 referências), de fácil acesso (6 referências) e como tendo utilidade (5 referências). Alguns comentários foram muitos gerais, expressando satisfação pessoal em relação à página (adorei/gostei; 7 referências). Registramos comentários como:

*“A página está muito bem elaborada, apresentada de forma clara e explicativa; carrega rapidamente”.*

*“A página é sem dúvida, muito útil para estudos individuais, trazendo os conteúdos básicos sobre enzimas...”.*

Os comentários gerais com cunho negativo foram alusões muito superficiais e não são diretamente relacionados ao tema central da página. Como exemplo podemos citar sugestões de inclusão da biografia dos autores. Um dos comentários diz que há necessidade de incluir outros temas, o que consideramos incoerente com o tema abordado que, na opinião dos autores, deve ser único, ou seja, Enzimas. Devemos, sim, procurar incluir diferentes aspectos sobre o tema incluindo, por exemplo, avanços recentes do campo, como foi sugerido por um aluno.

De uma forma geral, podemos perceber que os comentários dos graduandos foram bastante favoráveis á página Enzimas, considerando que 62,2% deles foram positivos. Todos os comentários foram levados em consideração nas alterações da página, realizada após a avaliação (em andamento).

#### **4.4. Avaliação da Página por Alunos de Pós-Graduação**

A página Enzimas foi avaliada por 17 alunos de pós-graduação de diferentes cursos de universidades Brasileiras, tal como se descreve em Metodologia (sec. 3.2). Estes avaliadores responderam ao questionário que consta do anexo dois, que é ligeiramente diferente do questionário destinado aos graduandos. Algumas das questões da segunda parte do questionário, porém, eram idênticas e permitiram uma comparação entre os grupos de pós-graduandos e graduandos. Essa comparação foi realizada mediante o teste ANOVA, já anteriormente descrito. As questões diferentes não foram, evidentemente, alvo de comparação. Por conveniência, e porque não foram muitas as diferenças encontradas na comparação entre os três grupos de graduandos considerados na seção 4.2, para a análise aqui efetuada foram apenas considerados os graduandos brasileiros tanto semipresenciais como presenciais (n = 94), já que apenas pós-graduandos brasileiros participaram da avaliação.

#### 4.4.1. Grau de Dificuldade no Entendimento da Proposta da Página

À semelhança do questionário dos graduandos, este destinado aos pós-graduandos questionava sobre o grau de dificuldade encontrado no entendimento da proposta da página, nos moldes da escala de Likert, considerando “um” como sendo muito fácil e “cinco” como sendo muito difícil. Pode-se observar dos resultados que constam da tabela 4.7, que os alunos de pós-graduação não encontraram dificuldade no entendimento da proposta da página “Enzimas”.

**Tabela 4.7: Grau de dificuldade encontrado pelos pós-graduandos comparados aos graduandos.**

Tópico	Médias		ANOVA	
	Pós-graduandos n = 17	Graduandos n = 94	F	p
Estrutura-função	4,5 ± 0,4	3,9 ± 0,8	6,951	0,010
Laboratório virtual	4,5 ± 0,3	3,8 ± 1,0	9,406	0,003
Espectrofotômetro virtual	4,6 ± 0,3	3,9 ± 1,0	7,322	0,008
Estudo dirigido cinética	4,5 ± 0,6	3,5 ± 1,5	9,239	0,003
Aplicações biotecnológicas	4,6 ± 0,3	4,0 ± 1,0	6,025	0,020
Histórico	4,8 ± 0,2	4,3 ± 0,7	4,948	0,030

Todos os tópicos avaliados receberam notas com média superior a 4. Nota-se que em todos os tópicos a dificuldade referida pelos pós-graduandos é significativamente menor em relação aos graduandos ( $p < 0,05$ ).

A grande familiaridade dos pós-graduandos com o tema “enzimas” pode explicar esta menor dificuldade referida pelos pós-graduandos que, por isso, não se confrontam com muitas

novidades quando navegam pela página. É também um indicador de que o conteúdo da página está mais dirigido para os graduandos, a quem, aliás, se destina a página.

#### 4.4.2. Influência da Página “Enzimas” no Conhecimento Prévio dos Pós-graduandos

Na análise da influência da página “Enzimas” no conhecimento prévio dos pós-graduandos, foi observada uma menor influência que aquela encontrada pelos graduandos. Como se pode observar na tabela 4.8, quando se compara pós-graduandos e graduandos, para todos os tópicos a diferença é estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Isto está de acordo com os resultados anteriores (Tabela 4.7) em que observamos um menor grau de dificuldade dos pós-graduandos, sugerindo um conhecimento prévio, o qual foi constatado aqui. Além disso, nossos resultados sugerem que os graduandos, para quem a página está particularmente dirigida, tiram dela benefícios maiores para o seu conhecimento do que os pós-graduandos.

**Tabela 4.8. Influência da página “Enzimas” no conhecimento prévio de pós-graduandos comparados aos graduandos.**

Tópico	Médias		ANOVA	
	Pós-graduandos n = 17	Graduandos n = 94	F	<i>p</i>
Estrutura-função	2,1 ± 1,1	3,5 ± 1,4	20,089	0,0002
Laboratório virtual	2,5 ± 1,3	3,4 ± 1,0	10,117	0,002
Espectrofotômetro virtual	2,4 ± 1,6	3,4 ± 1,2	11,763	0,009
Estudo dirigido cinética	2,5 ± 1,4	3,6 ± 1,1	16,167	0,001
Aplicações biotecnológicas	2,5 ± 1,8	3,7 ± 1,2	15,754	0,001
Histórico	2,6 ± 2,1	3,5 ± 1,8	5,783	0,02

#### 4.4.3. Aspectos da Avaliação Geral da Página “Enzimas” por Pós-graduandos

Os estudantes de pós-graduação que avaliaram a página foram, também, solicitados a considerar alguns aspectos gerais da página. Da mesma forma que perguntado aos graduandos, a escala de notas variou de acordo com a pergunta, obedecendo aos critérios: 1 = nunca e 5 = com certeza; ou 1 = ruim e 5 = ótimo. As questões que se repetiam nos questionários de graduandos (Anexo 1) e de pós-graduandos (Anexo 2) foram analisadas de forma comparativa, como descrito anteriormente. Parte da avaliação geral referia-se à utilidade da página (Tabela 4.9), uma outra parte relacionada ao aspecto visual e à estrutura de navegação (Tabela 4.10) e, ao final, duas questões mais gerais quanto ao conteúdo e à pertinência no cotidiano foram apresentadas (Tabela 4.11).

Na avaliação destinada a alunos de pós-graduação, os alunos foram questionados quanto à possibilidade de utilização da página “Enzimas” para complementar estudos ou preparar aulas. Nesse item, a média das notas indicadas pelos pós-graduandos foi de  $3,8 \pm 1,7$ , ou seja, estes alunos consideram razoavelmente a possibilidade de utilização da página para os fins acima mencionados. Este aspecto não foi comparado aos graduandos pois não foi perguntado a estes se utilizariam a página para preparar aulas.

Quanto à possibilidade de recomendar a página a colegas, como está mostrado na Tabela 4.9, os pós-graduandos levam em grande conta esta possibilidade ( $4,1 \pm 1,2$ ), porém em menor grau que os graduandos, diferença estatisticamente significativa. Estes dados parecem reforçar a idéia de que os graduandos encontram na página maiores benefícios para seus estudos do que os pós-graduandos. Quanto à eventualidade de a página substituir a aula presencial os pós-graduandos também consideram de forma muito negativa esta possibilidade o que sustenta nossa intenção de fazer dela um material de suporte à distância para os estudos e não de substituição de aulas presenciais.

**Tabela 4.9: Aspectos relacionados à utilidade da página “Enzimas” por pós-graduandos**

Tópico	Médias		ANOVA	
	Pós-graduandos n = 17	Graduandos n = 94	F	p
Recomendar a colegas	4,1 ± 1,2	4,7 ± 0,5	8,549	0,004
Substitui aula presencial	1,8 ± 1,7	2,3 ± 1,4	2,167	0,140

De igual modo, os pós-graduandos foram solicitados a avaliar questões relacionadas à forma, tais como seu visual e sua estrutura de navegação (*links*, botões de ação, entre outros.), atribuindo uma nota de um a cinco que equivalia a opiniões de “ruim” a “ótimo”. Como está mostrado na tabela 4.10, de modo geral, os pós-graduandos tendem a considerar o visual da página de forma razoavelmente positiva ( $3,5 \pm 1,3$ ), não havendo diferença significativa em relação aos graduandos. Já no que diz respeito à estrutura de navegação, a tendência é considerar este aspecto de forma mais crítica que os graduandos, havendo diferença estatisticamente significativa (Tabela 4.10). Este aspecto está igualmente refletido nos comentários e sugestões dos pós-graduandos, cuja análise se faz mais adiante (sec.4.6).

**Tabela 4.10: Avaliação do visual da página e estrutura de navegação por pós-graduandos**

Tópico	Médias		ANOVA	
	Pós-graduandos n = 17	Graduandos n = 94	F	p
Visual da página	3,5 ± 1,3	4,0 ± 1,2	2,153	0,15
Estrutura de navegação	3,3 ± 1,6	4,1 ± 1,1	7,658	0,007

Os pós-graduandos foram, também, solicitados a avaliar o conteúdo da página e a pertinência do tema abordado ao cotidiano. De modo geral, consideraram estes aspectos de forma positiva, com médias superiores a quatro, não havendo diferença significativa em relação aos graduandos.(Tabela 4.11).

**Tabela 4.11: Avaliação geral do conteúdo e pertinência do tema por pós-graduandos**

Tópico	Médias		ANOVA	
	Pós-graduandos n = 17	Graduandos n = 94	F	p
Conteúdo	4,1 ± 0,7	4,4 ± 0,7	1,207	0,27
Pertinência no cotidiano	4,2 ± 0,7	3,9 ± 0,8	1,137	0,30

#### 4.4.4. Atribuição de Notas às Diferentes Seções da Página “Enzimas”

Da mesma forma que foi solicitado aos graduandos, os pós-graduandos atribuíram uma nota de um a cinco aos diferentes tópicos da página que consideramos essenciais, ou seja: espectrofotômetro virtual, estudo dirigido de cinética enzimática, aplicações biotecnológicas e histórico. As notas dos pós-graduandos variaram de um a cinco para o histórico, de dois a cinco para o estudo dirigido e aplicações biotecnológicas e de três a cinco para o espectrofotômetro virtual. Podemos observar pelos resultados da Tabela 4.12 que a avaliação foi positiva, pois as notas estão sempre acima da média. Estas notas não apresentam diferença significativa em relação às notas atribuídas por graduandos.

**Tabela 4.12: Médias das notas atribuídas por pós-graduandos a diferentes seções da página “Enzimas”**

Tópico	Médias		ANOVA	
	Pós-graduandos n = 17	Graduandos n = 94	F	<i>p</i>
Espectrofotômetro virtual	4,2 ± 0,5	4,1 ± 0,9	0,212	0,65
Estudo dirigido cinética	4,3 ± 0,7	4,1 ± 0,8	0,606	0,44
Aplicações biotecnológicas	3,9 ± 1,1	4,2 ± 0,9	0,767	0,38
Histórico	4,1 ± 1,4	4,0 ± 1,1	0,018	0,89

#### 4.5. Comentários e Sugestões por Pós-graduandos

Como referido em Metodologia, a terceira parte do questionário era igual para todos os avaliadores (graduandos, pós-graduandos e professores) e solicitava a emitirem livremente sua opinião sobre a página e a contribuírem com sugestões para melhorar a página. Estas opiniões foram compiladas e analisadas em seis tópicos como se pode ver nas seções 3.3 e 4.3.

Dos 17 pós-graduandos que avaliaram a página “Enzimas”, 16 (94,1%), fizeram comentários e sugestões. No total registramos 42 comentários, ou seja, uma média de 2,6 comentários por pós-graduando. Foi interessante notar que os comentários positivos e negativos apareceram em mesmo número, ou seja 21 deles (50%) podem ser considerados comentários com conotação positiva.

Parte dos comentários (21,4%) referem-se ao conteúdo, tendo sido sete positivos e quatro negativos. As referências positivas ao conteúdo são relativas ao conteúdo geral que é citado como sendo ótimo, interessante, bem estruturado e rico em informações (4 referências) e ao laboratório virtual e cinética enzimática que são citados como bons, didáticos, bem

elaborados e interessantes (3 referências). A seguir estão citados alguns dos comentários positivos relativos ao conteúdo da página:

*“O conteúdo da página é muito bom e classifico como tendo um ótimo material para início da construção de conhecimentos acerca de enzimas”.*

*“Quanto ao laboratório virtual achei muito bom e de grande valia”.*

*“O conteúdo está atualizado e rico em informações. O estudo dirigido está muito bem elaborado”.*

As referências negativas ao conteúdo são relativas à falta de abordagem de conceitos básicos e à necessidade de aprofundamento do tema estrutura-função. Eis alguns dos comentários relacionados:

*“O tema estrutura-função talvez faltou aprofundar um pouquinho mais na parte de estruturas”.*

*“A cinética enzimática poderia ser melhor abordada com animações mecanísticas, ilustrando a dinâmica do que acontece no experimento”.*

*“... achei que seria necessário um conhecimento prévio bastante significativo para o entendimento dos conteúdos. Conceitos básicos não são abordados”.*

Os comentários sobre “aplicações biotecnológicas” foram quatro, ou seja, 9,5% do total de comentários, sendo dois positivos e dois negativos. A seguir se transcrevem dois comentários, um positivo e um negativo, relacionados às aplicações biotecnológicas.

*“... as aplicações biotecnológicas é muito importante e está muito bem montada, além de serem favoráveis ao conhecimento mais adequado de forma estimulante”.*

*“... as aplicações poderiam compreender mais informações no campo biotecnológico e tratamento de resíduos”.*

O histórico foi alvo de três comentários, sendo um positivo e dois negativos, um deles referente à falta de figuras. Registramos os seguintes comentários em relação a este tópico:

*“... o histórico é um diferencial nesse site”.*

*“Acho que seria bom se ao invés de ter o histórico com tantos pontos, fossem colocados apenas os principais pontos mostrando de forma didática como os pesquisadores chegaram a tais descobertas”.*

O Espectrofotômetro virtual mereceu seis comentários sendo dois com conotação positiva e quatro com conotação negativa. Os comentários aqui considerados negativos estão, entretanto, expostos de forma muito objetiva e serão, certamente, uma grande contribuição às ações em curso para melhorar a página “Enzimas”. A seguir, alguns destes comentários:

*“... o espectrofotômetro virtual é uma ótima idéia para aproximar o aluno das práticas de laboratório”.*

*“Faltou explicação no espectrofotômetro virtual”.*

Questões de forma foram as que mereceram proporcionalmente mais comentários negativos (nove) e apenas um positivo. Os comentários desse tópico com conotação negativa dizem respeito a textos muito extensos (2 referências), ao funcionamento crítico da estrutura de navegação em geral (4 referências), à heterogeneidade das fontes, cores e fundos das páginas (1 referência) e apontando alguns erros de grafia (2 referências). A seguir transcrevemos dois comentários:

*“... a estrutura em hipertexto facilita a navegação rápida entre os diferentes tópicos”.*

*“A proposta de ensino através do hipertexto deveria ter soluções mais criativas que longos textos, que já podem ser encontrados nos livros”.*

Os comentários das questões de forma, bem como aqueles relativos ao espectrofotômetro virtual, foram de uma grande objetividade o que faz com que sejam facilmente considerados nas ações tendentes a melhorar a página Enzimas que é um dos objetivos da presente avaliação.

Uma parte significativa dos comentários (dez) foram gerais, dos quais oito são positivos e dois negativos. Os comentários gerais com conotação positiva ressaltam a importância da página como difusora de informação de qualidade sobre enzimas e seus efeitos

benéficos sobre o aprendizado para alunos de graduação (e não só) além de outros mais gerais. Eis alguns destes comentários:

*“A página é muito objetiva, permitindo esclarecimento de várias questões pertinentes ao estudo das enzimas. Muito útil para montagem de aulas e certamente útil ao aluno de graduação em especial para o aprendizado”.*

*“A página, acredito, cumpre bem a função de disseminação de informação de boa qualidade”.*

Já os dois comentários gerais negativos apontam para uma indefinição em relação ao público alvo da página “Enzimas” ou para a falta de uma correlação com áreas específicas, estando ambos transcritos a seguir:

*“... acho que ela tem que atrair mais o aluno de graduação. Talvez seja importante relacionar o conhecimento de enzimas com áreas específicas dos principais cursos biológicos”.*

*“Não fica claro o público-alvo, impossibilitando uma avaliação mais útil aos criadores do site”.*

É possível que seja do interesse de cada um ver aplicações numa área bastante específica (Nutrição, Odontologia, Biologia, por exemplo), o que dificulta muito no momento de definirmos a aplicabilidade da página. Foi decidido que teríamos alguns exemplos de aplicações biotecnológicas por considerarmos uma página de interesse ao aluno de graduação da área biológica. Porém, foi também ponderado que o tema Enzimas pode ser estudado por alunos de qualquer outra área desde que a disciplina Bioquímica faça parte do currículo escolar. Dessa forma, o conteúdo foi apresentado de forma geral e as aplicações mais específicas, em um *link* a parte.

Devemos ressaltar que a página “Enzimas” foi desenvolvida com o propósito de apoiar os alunos de graduação em seus estudos sobre enzimas, como fazemos questão de assinalar nos objetivos deste trabalho. Os comentários aqui registrados vão de encontro ao objetivo dessa avaliação: coletar sugestões que permitam melhorar a página. Notamos que, à

semelhança dos graduandos, há um predomínio de comentários gerais, a maior parte dos quais favoráveis à página “Enzimas”. As questões de forma foram as que, proporcionalmente, obtiveram mais referências negativas. Estas alusões negativas bem como aquelas ao espectrofotômetro virtual foram expostas de forma bastante objetiva, o que permitirá que sejam consideradas em ações em curso para melhorar a página.

#### 4.6. Avaliação da Página “Enzimas” por Professores de Graduação

A página Enzimas foi também avaliada por 14 professores de universidades brasileiras que responderam ao questionário do anexo 3. Nos moldes da escala de Likert, os professores foram solicitados a avaliarem aspectos gerais da página relativos à utilidade da mesma (Tabela 4.12), ao visual e estrutura de navegação, e aspectos mais gerais como o conteúdo e pertinência do tema.

Como está mostrado na Tabela 4.12, os professores avaliadores apontam como positivos os aspectos de utilidade da página ao terem em grande conta a possibilidade de utilização da página para preparar aulas e recomendarem a utilização da página por seus alunos (notas superiores a 4,5). À semelhança de outros grupos de avaliadores (graduandos e pós-graduandos) também os professores não consideram que a página “Enzimas” possa substituir a aula presencial.

**Tabela 4.12.: Avaliação de aspectos sobre a utilidade da página por professores**

Tópicos	Médias
Utiliza para preparar aulas	4,7 ± 0,8
Recomenda a alunos	4,8 ± 0,4
Substitui aula presencial	1,9 ± 1,4

Quanto ao visual e à estrutura de navegação da página, as médias dos professores estão acima do valor médio (Tabela 4.13) sugerindo que eles consideram que estes aspectos da página são razoavelmente favoráveis á exploração do conteúdo da página. Por outro lado, o conteúdo e a pertinência do tema abordado pela página, itens de maior relevância na avaliação, foram considerados de forma mais positiva pelos professores avaliadores com médias acima de quatro (Tabela 4.13).

**Tabela 4.13: Avaliação geral da página “Enzimas” por professores de graduação**

Topicos	Médias
Visual da página	3,5 ± 1,1
Estrutura de navegação	3,4 ± 1,1
Conteúdo	4,4 ± 1,1
Pertinência	4,1 ± 0,8

Os professores foram igualmente solicitados a atribuir notas a seções da página consideradas preponderantes. As médias das notas constam da Tabela 4.14 e, como se pode observar, as médias das notas se situam acima de 3,5 o que significa que estes tópicos da página são aqui considerados de forma positiva pelos professores. Tendo em conta as médias aqui apresentadas podemos dizer que, de modo geral, os professores fazem uma avaliação positiva dos diferentes aspectos da página que foram solicitados a considerar.

**Tabela 4.14: Notas atribuídas às diferentes seções da página “Enzimas” por professores**

Topicos	Médias
Espectrofotômetro virtual	3,6 ± 1,0
Estudo dirigido cinética	4,1 ± 0,5
Aplicações biotecnológicas	3,9 ± 1,4
Histórico	3,8 ± 1,3

#### 4.7. Comentários e Sugestões por Professores de Graduação

Os professores foram também solicitados a emitirem sua opinião sobre a página e contribuir com sugestões que visam melhora-la. Estes comentários foram compilados e analisados como descrito na sec. 3.3, constituindo seis categorias e quanto a serem positivos ou negativos.

Dos 14 professores que avaliaram a página, 11 preencheram esta parte do questionário. Registramos um total de 38 comentários, média de 2,7 comentários por professor, dos quais 11 são considerados positivos, 27 negativos e um, que por não se referir especificamente à página, foi considerado neutro.

Dos comentários registrados, sete estão relacionados ao conteúdo, sendo dois positivos e cinco negativos. Os comentários positivos ao conteúdo referem-no como ótimo e bem elaborado. Eis alguns exemplos:

*“Os conteúdos curriculares estão bons”.*

*“O conteúdo da página está bem elaborado”*

Já os comentários negativos ao conteúdo referem-se, sobretudo à forma como é apresentado e à falta de alguns aspectos considerados necessários pelos avaliadores, como, por exemplo:

*“... a maioria do conteúdo é apresentada de maneira descritiva e não muito animadora”.*

*“Falta mostrar o significado fisiológico de afinidade (Km)”.*

As aplicações biotecnológicas mereceram dos professores quatro comentários, todos eles negativos, como os que se seguem:

*“... a parte que pouco aparece em livros textos (histórico e aplicações) poderia ser melhor exploradas, da forma como aparecem não são muito úteis”.*

*“... incluir com mais detalhe algumas aplicações práticas”.*

O histórico foi alvo de seis comentários, dos quais cinco são negativos. O único comentário positivo diz textualmente: *“legal esta cronologia”*. A seguir alguns dos comentários com conotação negativa:

*“algumas (datas) mais relevantes podem ser acrescentadas de comentários específicos para destacar sua importância histórica”.*

*“Fotos de alguns famosos e a estrutura de enzima ou molécula que trabalharam acho que deixariam a página mais interessante”.*

Registramos oito comentários relativos ao espectrofotômetro virtual dos quais quatro são positivos e quatro negativos. Os comentários positivos consideram o espectrofotômetro virtual como muito bom, interessante e uma ótima iniciativa. A seguir se transcrevem alguns desses comentários:

*“O espectrofotômetro virtual é muito bom, e a idéia de utiliza-lo é excelente”.*

*“A parte do espectrofotômetro virtual está bem interessante”*

Por sua vez, os comentários negativos ao espectrofotômetro virtual fazem, sobretudo, referência à necessidade de sobrepor ou guardar os gráficos para comparar os efeitos e uma tecla para voltar ao início. Alguns desses comentários são os seguintes:

*“Em relação ao espectrofotômetro virtual, talvez a representação da avaliação de cada variável em um mesmo gráfico, por exemplo, as curvas de concentração de substrato, facilitasse o entendimento”.*

*“... durante o seu funcionamento, poderiam aparecer as condições dos experimentos. Os gráficos de diversos experimentos também poderiam se guardados para comparação”.*

As questões de forma foram alvo de oito comentários todos eles com conotação negativa. Eles apontam, sobretudo, para aspectos ligados à estrutura de navegação, como o funcionamento de alguns *links* e para a necessidade de corrigir pequenos detalhes e erros de grafia. A seguir se apresentam exemplos desses comentários:

*“A diagramação e navegação poderia se melhorada”*

*“Os links podem ser de melhor acesso, com maiores facilidades de uso. Talvez uma consultoria com algum webdesigner possa melhorar isso”.*

Finalmente, registramos cinco comentários gerais sendo que quatro são positivos. Os comentários positivos qualificam a página no geral como excelente e um ótimo complemento às aulas presenciais. Registramos comentários como:

*“A idéia da página é excelente e acho que o texto está muito bom”*

*“Como complemento às aulas presenciais está ótimo”.*

Quanto ao único comentário geral negativo ele diz textualmente: *“Achei a página sem muita atração para o aluno”*. Em relação a este último comentário e a julgar pelos dados deste trabalho, não parece ser esta a percepção dos alunos, particularmente dos graduandos, para quem a página se destina.

De uma maneira geral, podemos perceber que, apesar de mais críticos, os comentários dos professores refletem as mesmas opiniões dos alunos.

## CONCLUSÕES

A página “Enzimas” traz uma proposta para o ensino da temática relacionada à cinética enzimática, um tema pertinente na opinião dos avaliadores da página. Os diferentes aspectos da página aqui avaliados permitem, de algum modo, configurar a percepção de alunos e professores em relação à mesma. Uma das preocupações dos autores era a respeito da adequação da página ao nível de graduação. Ao analisar as respostas às questões relativas ao grau de dificuldade no entendimento da proposta da página e à influência no conhecimento prévio do tema, constata-se que os graduandos assinalam um grau não muito grande de dificuldade e influência aceitável (Tabelas 4.1 e 4.2). Quando se comparam as respostas dos graduandos aos pós-graduandos, observa-se que os últimos assinalam um grau de dificuldade menor e também uma menor influência relativamente ao conhecimento prévio (Tabelas 4.7 e 4.8), como poderia ser esperado. Depreende-se daqui que são os graduandos que retiram da página maiores benefícios para o aprendizado sobre enzimas. Este aspecto é reforçado pela forma como os graduandos avaliam os aspectos inerentes à utilidade da página. Os comentários, tanto de alunos como de professores, destacando a importância do modelo de abordagem para o ensino e aprendizado do tema na graduação, reforçam mais a indicação de que o conteúdo da página “Enzimas” está particularmente dirigido para este nível de ensino.

A construção de páginas da internet para fins educativos deve considerar vários aspectos tanto intrínsecos como extrínsecos. Entre estes, figuram aspectos visuais e sonoros bem como elementos de controle, isto é, aqueles que permitem navegar pela página ou obter determinados efeitos, no caso de ferramentas interativas. É fundamental que estes elementos sejam capazes de prender a atenção do aluno para que o conteúdo possa ser apreendido, ou seja, o aprendizado seja favorecido. Por essa razão procuramos também obter a percepção dos avaliadores sobre estes elementos. Embora a avaliação tenha sido positiva quanto ao

conteúdo, através dos comentários agrupados na categoria “questões de forma”, percebemos considerações que apontaram este aspecto como relativamente crítico na página.

Segundo os avaliadores, o espectrofotômetro virtual, considerado pelos autores uma parte essencial da página, é interessante, e mereceu algumas críticas construtivas com sugestões positivas.

A página “Enzimas” foi concebida como uma ferramenta coadjuvante, sem o propósito de substituir aulas presenciais. Contudo foi notório o fato dos avaliadores, incluindo os alunos do CEDERJ que freqüentam seus cursos em regime semi-presencial, assinalarem, de forma quase unânime, que ela não substitui aulas presenciais. Considerando que ganha cada vez mais espaço o designado ensino a distância, cujas ferramentas são cada vez mais veiculadas pela Internet, importa refletir sobre a melhor forma de estruturar esses materiais com vistas a que possam ser efetivamente úteis. As aulas presenciais se revestem de elementos afetivos que medeiam a relação aluno-professor que em muitos casos favorecem o processo de aprendizagem. Embora estes fatores psicológicos são difíceis de substituir no modelo de ensino a distância, ferramentas didáticas bem concebidas podem incorporar elementos substitutivos parciais que se apresentam sobretudo sobre a forma de ferramentas de comunicação (*chats*, fóruns, entre outros). São inegáveis as vantagens que habitualmente se apontam em relação ao ensino a distância nomeadamente as que se referem à economia de tempo e espaço, pelo que, são recomendáveis investimentos que propiciam a criação de ferramentas adequadas para este modelo de ensino.

HSU (2006) recorre a vários autores para afirmar de forma taxativa que as ferramentas didáticas baseadas na internet têm um efeito positivo na motivação dos estudantes, na sua atitude científica e na eficiência do aprendizado. Porém, ressalta que os efeitos positivos resultam de páginas e material didático adequadamente desenhados. HEDE (2002), por sua vez, encontra contradições nos resultados de estudos tendentes a avaliar o impacto destas

ferramentas no aprendizado e conclui haver muitos fatores intermediando seus efeitos no aprendizado o que torna complexa a sua avaliação. Para harmonizar estes estudos, propõe um modelo integrado para avaliar os efeitos multimídia no aprendizado. O modelo de Hede considera vários aspectos e variáveis e estabelece as complexas interconexões entre eles (HEDE, 2002). Longe de pretender pôr fim ao longo debate sobre o efeito destas ferramentas no aprendizado, como ele próprio afirma, seu principal propósito é o de prover os educadores de uma lista dos principais fatores a ser considerados no desenvolvimento deste tipo de ferramenta. O nosso estudo não abrange todas as variáveis listadas por Hede, limitando-se a considerar alguns aspectos que considera multimídia *input* e dinâmica do aprendiz. O`DAY (2006) por seu turno, refere a necessidade de se ouvir os estudantes para saber de seus anseios e necessidades na hora de confeccionar materiais didáticos. Nosso estudo representa um esforço nesse sentido. Mesmo sem ser suficientemente abrangente, na perspectiva de Hede (HEDE, 2002), o presente estudo permitiu destacar vários aspectos quanto à percepção dos avaliadores sobre a página. Estes aspectos serão tomados em conta para introduzir alterações que permitam melhorar a página.

Um dos fatores positivos de uma página de internet é que ela permite que seja alterada, atualizada quando necessário, permitindo que se beneficie de ajustes que a tornem adequada a seus propósitos. Esta avaliação forneceu muitos elementos que permitirão fazer ajustes necessários à página “Enzimas” de modo a aproximá-la mais dos seus objetivos.

**REFERÊNCIAS:**

ABELES, R.H.; FREY, P.A.; JENCKS, W.P.; **Biochemistry**, Cap. 3, p. 71, Jones and Bartlett Publishers, 1992.

AINSWORTH, S.; **The functions of multiple representations**; Computers & Education, n.33, p. 131 – 152; 1999.

ALEDO, J.C.; LOBO, C.; DEL VALLE, E. A; **Energy diagrams for enzyme-catalysed reactions-concepts and misconcepts**. BAMBED, v. 31, n. 4, p. 234-236; 2003.

BARNETT, J.A.; **Begnings of microbiology and biochemistry: the contribution of yeast research**; Microbiology, n. 149, p. 557-567, 2003.

BRASIL; **Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental**; Introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais/Secretaria de Educação Fundamental – Brasília; MEC/SEF, 1998, 174 pp. disponível em: <http://www.mec.gov.br/sef/estrut2/pcn/pdf>; acesso em 25/08/2006.

BRUCE, T. C.; BENKOVIC, S.J.; **Chemical basis for enzyme catalysis**; Biochemistry, v. 39, n. 21, p. 6267-6274, 2000.

BUCHNER, E.; **Cell-free fermentation**; Nobel Lecture, December, 1907 disponível em [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1907/buchner-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1907/buchner-lecture.pdf) acesso em 23/08/2006.

BUSTOS, D.M.; IGLÉSIAS, A.A.:(2000) **The kinetic properties of liver glucokinase and its function in glucose physiology as a model for comprehensive study of enzymes kinetic parameters and reversible inhibitors**. BAMBED, n. 28, p. 332 – 337; 2000.

ÇEPNI, S.; TAŞ, E.; KÖSE, S.;**The effects of computer-assisted material on students' cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science**; Computers & Education, n. 46, p.192-205; 2006.

CLARK, A.; **Lucenz simulator – a tool for teaching enzyme kinetics**, BAMBED, v. 32, n. 3, p. 201 – 206; 2004.

CORNISH-BOWDEN, A. **Fundamentals of enzyme kinetics**, Portland Press, revised edition, London, 2001.

CORNISH-BOWDEN, A.; **"The Origins of Enzymology,"** The Biochemist, v.19 n. 2, p. 36–38, 1999.

FORTERRE, P.; **The two ages of the RNA world, and the transition to the DNA world: a story of viruses and cells**; Biochimie, n. 87, p. 793-803, 2005.

FRIEDMANN, H. C.; (1997) **From Friedrich Wöhler's Urine to Eduard Buchner's Alcohol**, in *New Beer in an Old Bottle: Eduard Buchner and the Growth of Biochemical Knowledge* (ed. A. Cornish-Bowden), Universitat de València, Valencia, Spain,1997 p. 67–

122 <disponível em <http://bip.cnrs-rs.fr/bip10/newbeer/friedmn.pdf> , acesso em 15 novembro 2005.

GIBBONS, N.J.; EVANS, C.; PAYNE, A.; SHAH, K.; GRIFFIN, D.; **Computer simulations improve university instructional laboratories**; Cell Biology Education, v.3, p. 263-269, 2004.

GIORDAN, M.; **O computador na educação em ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização**. Ciência & Educação, v.11, n. 2, p. 279-304, 2005.

GOLICNIK, M.; STOJAN, J.; **Slow binding inhibition**, BAMBED, v. 32, n. 4, p. 228 – 235; 2004.

GONZÁLEZ-CRUZ, J.; RODRIGUÉZ-SOTRES, R.; RODRIGUÉZ-PENAGO, M.; **On the convenience of using a computer simulation to teach enzyme kinetics to undergraduates students with biological chemistry curricula**. BAMBED, v.31, n.2, p. 93 – 101, 2003.

GUPTA, S. **A victim of truth. Vitalism was an attempt to reconcile rationality with a sense of wonder**; Nature, v. 407, p. 677, 2000.

HAMMES, G. G.; **Multiple conformational changes in enzyme catalysis**; Biochemistry, v. 41, n. 26, p. 8221-8228, 2002.

HARRIS, D.; **A unified approach to enzyme catalysis**; Biochemical Education, v.14, n.1, p. 2 – 6; 1986.

HEDE, A.; **An integrated model of multimedia effects on learning**; Journal of Educational Multimedia and Hipermedia; v.11(2), p. 177-191, 2002.

HEINRICH, R.; MELENDÉZ-HEVIA, E.; CABEZAS, H.; (2002) **Optimization of kinetics parameters of enzymes**. BAMBED, v. 30, n. 2, p. 184-188; 2002.

HSU, Y.S.; **‘Lesson rainbow’: the use of multiple representation in an internet-based, discipline-integrated science lesson**. British Journal of Educational Technology, v. 37, n. 4, p. 539 –557, 2006.

JOYCE, G. F.; **The antiquity of RNA-based evolution**; Nature, v. 418, p. 214-221, 2002.

KIRK, O.; BORCHERT, T. V.; FUGLSANG, C. C.; **Industrial enzyme applications**; Current Opinion in Biotechnology, n. 13, p. 341-351, 2002.

KRAUT, D. A.; CARROL, K. S.; HERSCHLAG, D. **Challenges in enzyme mechanism and energetics**; Annual Review in Biochemistry, v. 72, p. 517-571, 2003.

KRAUT, J.; **How do enzymes work**; Science, n. 282, p. 533 – 540; 1988.

LIKERT, R.; **A Technique for the measurement of attitudes**; Archives of Psychology, n.140, p.55, 1932.

MCCLEAN, P.; JOHNSON, C.; ROGERS, R.; DANIELS, L.; REBER, J.; SLATOR, B. M.; TERPSTRA, J.; WHITE, A.; **Molecular and cellular biology animations: development and impact on student learning**; Cell Biology Education, v. 4, p.169-179, 2005.

MONTEIRO, B. A.; **Analisando discursos presentes em *websites* para a formação continuada de professores de química: o caso do interativo**; 2005; 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Educacional) Núcleo de Tecnologia de Educação em Saúde (NUTES), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2005.

NARLIKAR, G.J., HERSCHLAG, D.; **Direct demonstration of the catalytic role of binding interactions in an enzymatic reaction**; Biochemistry, n.37, p. 9902-9911; 1998.

NORTHROP, J. H.; **The preparation of pure enzymes and virus proteins**; Nobel Lecture, December, 1946; disponível em [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1946/northrop-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1946/northrop-lecture.pdf); acesso em 23/08/2007.

O'DAY, D.H.; **Animated cell biology: a quick and easy method for making effective, high-quality teaching animations**.CBE-Life Sciences Education, v.5, p. 255-263, 2006.

PANEK, A. **Pão e vinho: a arte e a ciência da fermentação**; Ciência Hoje, v. 33, n. 195, p. 62-65, 2003.

PERACCHI, A.; **Enzyme catalysis: removing 'essential' residuos by site-directed mutagenesis**. TIBS, v. 26, n.8, p. 497 – 503, 2001.

PLESNIAK, L.; BELL, E.; **Teaching proteomics**, BAMBED, v. 31, 2, p. 127 – 130, 2003.

ROSENFELD, L.; **Justus Liebig and animal chemistry**; Clinical Chemistry, v. 49, n. 10, p. 1696-1707, 2003.

SCHLENK, F.; (1997) "**Early Research on Fermentation — a Story of Missed Opportunities**" pp. 43–50 in New Beer in an Old Bottle: Eduard Buchner and the Growth of Biochemical Knowledge (ed. A. Cornish-Bowden), Universitat de València, Valencia, Spain.1997 p. 43–50 (disponível em <http://bip.cnrs.fr/bip10/schlenk.htm> acesso em 15 de novembro 2005).

SEGAL, H., **The Enzymes**; Eds BOYER, P.; LARDY, H. and MYRBACK, K., Cap. 1, p. 3-48; Vol I, Academic Press, 1959.

STITH, B. J.; **Use of animation in teaching cell biology**; Cell Biology Education, v.3, p.181-188, 2004.

STRUCHINER, M., REZENDE, F., RICCIARDI, R.V. **Elementos fundamentais para o desenvolvimento de ambiente de aprendizagem à distância**; Tecnologia Educacional, ABT, v. 26 (142), 1998.

SUMNER, J. B.; **The chemical nature of enzymes**; Nobel Lecture, December, 1946; disponível em <http://kinglab.uchc.edu/Biochem1/PDFfiles> , acesso em 23/08/2006.

VICÁRIO, L.R.; CASATI, D.F.; IGLESIAS, A. A.; **A simple laboratory experiment for the teaching of the assay and kinetic characterization of enzymes**; Biochemical Education, v. 25, n. 2, p.106 – 109; 1997.

WANG, S. K.; YANG, C.; **The interface design and the usability testing of a fossilization web-based learning environment**; Journal of Science and Technology, v. 14, n. 3, p. 305-313, 2005.

WARSHEL, A.; NARAY-SZABO, G.; SUSSMAN, F.; HWANG, J.-K.; **How do serine proteases really work?** Biochemistry, v. 28, n. 9, p. 3629-3637.

## ANEXOS

- 1 – Questionário para graduandos
- 2 – Questionário para pós-graduandos
- 3 – Questionário para professores

## Anexo 1

**Questionário para Avaliação da Página de Internet “Enzimas”  
www.bioqmed.ufrj.br/enzimas**

Obrigado por avaliar a página Enzimas. Por favor, entregue o questionário respondido no Bloco E, sala 27B, Laboratório de Biocalorimetria ou envie cópia a:

[enzimas@bioqmed.ufrj.br](mailto:enzimas@bioqmed.ufrj.br)

Esta avaliação servirá para melhorarmos a página.

**1. Dados pessoais**

Idade: \_\_\_\_\_ Curso: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

• **Você tem acesso a internet (assinale todas as opções que forem corretas):**

Local	Tipo de Acesso		
	Discado	Banda larga	Por rádio
Na Faculdade			
Em Casa			
Outros (especifique)			

• Você teve aulas sobre enzimas (assinale todas as opções corretas):

( ) No ensino médio; ( ) Na faculdade; ( ) Nunca teve antes  
Ano: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_

**2. ASPECTOS RELATIVOS À PÁGINA:****2.1. Seu grau de dificuldade em compreender a proposta da página foi:**

**(1 = muito difícil; 5 = muito fácil)**

	1	2	3	4	5
Parte teórica/Estrutura-função					
Laboratório Virtual/Teórico					
Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

**2.2. Como a página influenciou seu conhecimento prévio sobre enzimas?**

**(1 = nenhuma influência; 5 = muita influência)**

	1	2	3	4	5
Parte teórica/Estrutura-função					
Laboratório Virtual/Teórico					
Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

**2.3. Faça uma avaliação geral:****(1 = nunca; 5 = com certeza / 1 = ruim; 5 = ótimo)**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Você utilizaria a página para complementar seus estudos?					
Você recomendaria a utilização da página a seus colegas?					
Você acredita que a página substitui a aula presencial?					
Visual da página (cores, fontes, tamanho da fonte, imagens e outros)					
Estrutura de navegação (links, botões de ação e outros)					
Conteúdo da página					
Pertinência do tema abordado no cotidiano					

**Dê uma nota para:**

Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

**2. Dê sua opinião geral sobre a página e sugestões que permitam melhorá-la (pode usar o verso).**

## Anexo 2

**Questionário para Avaliação da Página de Internet "Enzimas"**

www.bioqmed.ufrj.br/enzimas

Obrigado por avaliar a página Enzimas.

Por favor, envie o questionário respondido para o e-mail: [enzimas@bioqmed.ufrj.br](mailto:enzimas@bioqmed.ufrj.br) ou entregue no Bloco E/27B. Esta avaliação servirá para melhorarmos a página, incluindo ou retirando o que for sugerindo pela maioria dos avaliadores.

**1. Dados pessoais**

Idade: \_\_\_\_\_ ( ) Mestrado ou ( ) Doutorado – Curso

\_\_\_\_\_

Graduação em: \_\_\_\_\_ Ano: \_\_\_\_\_

- Você tem acesso a internet (assinale todas as opções que forem corretas):**

Local	Tipo de Acesso		
	Discado	Banda larga	Por rádio
Na Faculdade			
Em Casa			
Outros (especifique)			

- Você teve aulas sobre enzimas (assinale todas as opções corretas):  
 No ensino médio;  Na faculdade;  Na PG;  Nunca teve antes  
 Ano: \_\_\_\_\_ Período: \_\_\_\_\_ Ano: \_\_\_\_\_

**2. ASPECTOS RELATIVOS À PÁGINA:****2. ASPECTOS RELATIVOS À PÁGINA:****2.1. Seu grau de dificuldade em compreender a proposta da página foi:****(1 = muito difícil; 5 = muito fácil)**

	1	2	3	4	5
Parte teórica/Estrutura-função					
Laboratório Virtual/Teórico					
Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

## 2.2. Como a página influenciou seu conhecimento prévio sobre enzimas?

(1 = nenhuma influência; 5 = muita influência)

	1	2	3	4	5
Parte teórica/Estrutura-função					
Laboratório Virtual/Teórico					
Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

## 2.3. Faça uma avaliação geral:

(1 = nunca; 5 = com certeza / 1 = ruim; 5 = ótimo)

	1	2	3	4	5
Você utilizaria a página para complementar seus estudos ou para preparar aulas?					
Você recomendaria a utilização da página a seus colegas?					
Você acredita que a página substitui a aula presencial?					
Visual da página (cores, fontes, tamanho da fonte, imagens e outros)					
Estrutura de navegação (links, botões de ação e outros)					
Conteúdo da página					
Pertinência do tema abordado no cotidiano					

### Dê uma nota para:

Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

## 3. Dê sua opinião geral sobre a página e sugestões que permitam melhorá-la (pode usar o verso).

## Anexo 3

**Questionário para Avaliação da Página de Internet "Enzimas"**

www.bioqmed.ufrj.br/enzimas

Obrigado por avaliar a página Enzimas. Por favor, envie o questionário respondido para o e-mail: [enzimas@bioqmed.ufrj.br](mailto:enzimas@bioqmed.ufrj.br). Esta avaliação servirá para melhorarmos a página

**1. Dados pessoais**

Curso que leciona: \_\_\_\_\_

Você dá aula de Enzimas? ( ) SIM ( ) NÃO

- Você tem acesso a internet (assinale todas as opções que forem corretas):

Local	Tipo de Acesso		
	Discado	Banda larga	Por rádio
Na Faculdade			
Em Casa			
Outros (especifique)			

**2. Faça uma avaliação geral:**

(1 = nunca; 5 = com certeza / 1 = ruim; 5 = ótimo)

	1	2	3	4	5
Você utilizaria a página para complementar suas aulas?					
Você recomendaria a utilização da página a seus alunos?					
Você acredita que a página substitui a aula presencial?					
Visual da página (cores, fontes, tamanho da fonte, imagens e outros)					
Estrutura de navegação (links, botões de ação e outros)					
Conteúdo da página					
Pertinência do tema abordado no cotidiano					

**Dê uma nota de 1 a 5 para:**

Espectrofotômetro Virtual					
Estudo Dirigido de Cinética Enzimática					
Aplicações Biotecnológicas					
Histórico					

3. Dê sua opinião geral sobre a página e sugestões que permitam melhorá-la.

## **CURRICULUM VITAE**

Nome: **Maurílio Luciano Sabino Luiele**

Data de nascimento: 19/09/1962

Naturalidade: Katabola-Bié/Angola

Nacionalidade: Angola

### **Formação Acadêmica:**

Graduação em Medicina pela Faculdade de Medicina da Universidade Agostinho Neto Luanda, Angola, março de 1983 a outubro de 1989.

Mestrado em Química Biológica, área de concentração Educação, Gestão e Difusão em Biociências, Instituto de Bioquímica Médica – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

### **Comunicação em Congresso:**

**“Teaching and Learning on Enzymes: The Need for New Didactic Tools”**; Comunicação apresentada na XXXIV Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular-SBBq, Águas de Lindóia, SP, julho de 2005.

### **Outros eventos:**

Curso de Fundamentos de Biologia Molecular Aplicados à Pesquisa e ao Diagnóstico Clínico, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, UFRJ, de 03 a 04 de julho de 2004.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)