Universidade de São Paulo
Instituto de Química

Um método para o desenvolvimento e avaliação
de softwares instrucionais

Guilherme Andrade Marson

Tese apresentada ao Instituto de
Química da Universidade de São Paulo
para concorrer ao Título de Doutor, pelo
curso de Pós-Graduação em Química -
Área de Concentração: Bioquímica

São Paulo
2003

DEDALUS - Acervo - CQ

30100006107

8

Ficha Catalográfica

Elaborada pela Divisão de Biblioteca e
Documentação do Conjunto das Químicas da USP.

Marson, Guilherme Andrade

M373m Um método para o desenvolvimento e avaliação
de softwares instrucionais / Guilherme Andrade
Marson. -- São Paulo, 2003.
205p

Tese (doutorado) - Instituto de Química da
Universidade de São Paulo. Departamento de Bioquímica.
Orientador : Torres, Bayardo Baptista

1. Bioquímica : Ensino 2. Ensino superior
3. Softwares instrucionais : Educação I. T. II.
Torres, Bayardo Baptista, orientador.

574.19207 CDD

Um método para o desenvolvimento e avaliação de softwares instrucionais

Guilherme Andrade Marson

Tese de Doutorado submetida ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências – Área: Bioquímica

Aprovado por:

Prof. Dr. BAYARDO BAPTISTA TORRES
IQ – USP
(Orientador e Presidente)

Profa. Dra. BIANCA SILVANA ZINGALES
IQ – USP

Prof. Dr. MAURO BERTOTTI
IQ – USP

Prof. Dr. ALBERTO VILLANI
IF – USP

Profa. Dra. ANNA MARIA PESSOA DE CARVALHO
FE – USP

São Paulo
15 de Outubro 2003

Aos meus pais, Izabel e Adalberto, que estão sempre.

Ao meu irmão, Henrique, que está lá.

À minha mulher, Paula, que está aqui.

Agradecimentos Acadêmicos

Em primeiro lugar, agradeço, ao Prof. Dr. Bayardo B. Torres, pela mais rica experiência acadêmica que já vivi. É um privilégio tê-lo como orientador.

Agradeço aos professores Dra. Clélia Ferreira, Dr. Hernan Chaimovich, Dra. Iolanda M. Cuccovia, Dr. Ivan Schumacher, Dr. Maurício S. Baptista, Dra. Maria Júlia M. Alves, Dr. Mario José Politi, Dr. Pedro S. Araújo, Dr. Sandro R. Marana, Dr. Walter Colli e Dr. Walter R. Terra, do depto de Bioquímica do IQ-USP, bem como aos professores Dr. Eduardo Galembeck e Dra. Eneida de Paula, do depto de Bioquímica do IB-UNICAMP que, num ato de boa vontade, cederam espaço em seus laboratórios e em suas disciplinas para que este trabalho pudesse ser realizado.

Agradeço aos funcionários do IQ pela presteza nos serviços solicitados.

Agradeço ao depto de Bioquímica do IQ-USP, pelo apoio à execução do projeto.

Agradeço à FAPESP pela bolsa concedida.

Agradecimentos agradecimentos

Ao Bayardo pelo grande amigo que é, nas horas boas, nas horas ruins e, sobretudo, nas horas imprescindíveis. Muito obrigado.

Aos meus amigos e colaboradores Noboru, Remo, André, Silvia, Dani e Eduardo, pelo privilégio da convivência harmoniosa e por toda a ajuda e bom humor.

Aos queridos insetos, pela coragem de levar a vida e de deixar que a vida leve, sem falso moralismo e sem "bença" dos painhos. Em especial, ao Cição, Guilherme, Macabro, Flávio, David, Makoto, Xuds, Chico Lalá, Heavy, Abacas e Marcão: a próxima é minha.

Ao Fábio pela força e à Raphaela pelo bom humor.

Aos demais colegas do IQ, por manterem a máquina rodando, mesmo sem gasolina.

Um agradecimento especial ao Milas e à Ruth, ao Greg e à Mari, e à família Alvarez, pela acolhida.

Aos amigos de sempre, Flávio, Cohen, Mau, Dênis e Caco, por mais de dez anos de boas lembranças. Estamos velhos, não?

À Vicky e à Didinha, pela mais sincera devoção e amizade.

A todos vocês, muito obrigado e um grande abraço!

Resumo

Este trabalho visa estabelecer um método de desenvolvimento de softwares instrucionais dedicados ao aprimoramento de habilidades cognitivas. Três dos softwares desenvolvidos são descritos, versando sobre três técnicas experimentais de Bioquímica: cromatografia de permeação em gel, cromatografia de afinidade e cromatografia de troca iônica. A organização do conteúdo e a interface dos softwares têm como objetivo favorecer a reflexão sobre os princípios físico-químicos das técnicas. Os softwares foram avaliados com estudantes de cursos de graduação das áreas de Biologia e Saúde, segundo método estabelecido neste trabalho. Os estudos de avaliação demonstram que o software pode ser usado com êxito para o aprendizado dos princípios físico-químicos das técnicas em nível de Compreensão e Aplicação.

Abstract

This work aims to establish a method for developing instructional software devoted to the improvement of cognitive skills. Three of the softwares developed are described, concerning three experimental techniques in Biochemistry: gel permeation chromatography, affinity chromatography and ion exchange chromatography. The software's content and interface aim to promote reflection on the physical-chemical principles of the techniques. The softwares were evaluated with undergraduate students from Biological and Health courses, by means of a method established in this work. These evaluation studies show that the software can be successfully used for teaching the physical-chemical principles of the techniques at the level of Comprehension and Application.

Sumário

p.

Resumo

Abstract

Capítulo 1. Introdução e objetivos.....	1
1.1 O ensino superior e a sociedade da informação.....	1
1.2 Desenvolvimento de softwares de ensino que contemplam posturas críticas diante da informação.....	8
1.3 Pesquisa e desenvolvimento de softwares de ensino.....	16
1.4 Uso de softwares e as aulas de laboratório nas disciplinas de Bioquímica.....	18
1.5 Objetivos deste trabalho.....	21
Capítulo 2. Desenvolvimento dos softwares.....	23
2.1 Produção de conteúdo digital.....	23
2.2 Desenvolvimento da interface.....	24
2.3 Caracterização da interatividade nas unidades de conteúdo.....	33
Capítulo 3. Avaliação dos softwares.....	107
3.1 Objetivos gerais da avaliação.....	107
3.2 Avaliação do software em contexto.....	108
3.3 O método de avaliação.....	112
3.4 Teste do método de avaliação.....	118
3.5 Avaliação do software "Cromatografia de Permeação em Gel".....	131
3.6 Avaliação do software "Cromatografia de Troca Iônica".....	155
3.7 Estudo da utilização articulada dos softwares.....	169
3.8 Utilização do software em aulas expositivas.....	181
Capítulo 4. Conclusões.....	183
Anexo A: Soluções Computacionais Desenvolvidas.....	185
Anexo B. Questionários utilizados na avaliação do software.....	197
Referências Bibliográficas.....	203

Capítulo 1

Introdução

1.1. O ensino superior e a sociedade da informação

O século XXI é apontado como o século da informação. Suportados pelo arcabouço tecnológico digital da última década, a produção, trânsito e usufruto da informação aumentaram numa taxa sem precedentes na História. Embora seja questionável se as consequências do florescimento da era da informação trarão mais prejuízos do que benefícios à humanidade, não há dúvida quanto às transformações profundas que suscita nas relações de trabalho e produção (UNESCO, 1998; UNESCO, 2000).

Responsáveis pela geração de força de trabalho qualificada, as instituições de ensino superior têm papel estratégico, cabendo-lhes a tarefa de incorporar na formação de seus egressos as habilidades necessárias para o exercício pleno das funções no mundo do trabalho e da informação.

O modelo de ensino adotado para o ensino superior é reflexo do profissional que pretende formar. Até duas décadas atrás, a boa formação do profissional estava

associada à quantidade de conhecimento acumulada no curso de graduação ("formação") e no exercício da profissão ("experiência prática"). Na maioria dos casos, o conteúdo coberto no curso de graduação era suficiente para o exercício vitalício da profissão. Apenas em alguns casos havia a necessidade de atualizações esporádicas do conteúdo. Nestas circunstâncias, as instituições de ensino superior prezavam essencialmente pela quantidade e a qualidade da informação, sendo o planejamento curricular e a organização das disciplinas determinados exclusivamente pelo conteúdo específico. Este modelo é freqüentemente denominado "conteudista".

Enquanto o aumento do volume de informação era compatível com a capacidade de assimilação curricular das instituições de ensino superior, o modelo conteudista de formação profissional pôde coexistir com as modificações nos sistemas de produção, fluxo e usufruto do conhecimento.

Porém, o ritmo da sociedade da informação extrapola em muito a capacidade de adaptação do modelo conteudista, o que impõe novos referenciais para o planejamento curricular e a organização das disciplinas.

É necessário que as instituições de ensino superior possam adequar-se ao novo ritmo, sem o que, nenhum projeto de desenvolvimento poderá ser levado à consecução por nenhum governo (PITAC¹, 2001).

¹ PITAC - PRESIDENT'S INFORMATIONTECHNOLOGY ADVISORY COMMITTEE - Comitê de Aconselhamento sobre Tecnologia da Informação do Presidente dos Estados Unidos da América.

Coloca-se, portanto, um desafio para as instituições de ensino superior. A UNESCO¹ define várias diretrizes estabelecidas para sua superação, sendo algumas delas discutidas a seguir.

Ensinar a aprender por si

Assim como "não dar o peixe, mas ensinar a pescar", e "aprender a aprender"², "ensinar a aprender por si" é o ponto central para preparar os formados pelas instituições de ensino superior para a sociedade da informação.

O volume de conhecimento essencial para o exercício das profissões aumenta em tal velocidade que, em alguns casos, ao final de um curso de graduação, é obsoleta parte dos conteúdos ensinados no seu início. Ao modelo conteudista de ensino superior se apresenta um paradoxo temporal: para escapar da obsolescência eminente dos conteúdos como ensinar conhecimento que ainda não foi produzido?

Muitas propostas têm sido elaboradas para enfrentar a questão, sendo algumas delas voltadas aos aspectos tecnológicos. Estas propostas privilegiam as habilidades relacionadas à operação de equipamentos tecnológicos, priorizando o investimento em infraestrutura (máquinas e softwares). Aqueles que a justificam partem do pressuposto de que a questão fundamental é técnica, já que a tecnologia viabiliza a produção, fluxo e usufruto da informação.

¹ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - Organização Educacional, Científica e Cultural das Nações Unidas.

² O eco nos discursos, políticas e diretrizes educacionais da última década.

A não ser que o autor deste trabalho esteja muito enganado, embora sejam notáveis as inovações tecnológicas das últimas décadas, a única solução técnica que poderia resolver a obsolescência crônica dos conteúdos ainda não foi inventada. Trata-se da máquina do tempo, através da qual seriam incluídos no currículo dos calouros os conteúdos mais atualizados à época futura de sua aposentadoria. A solução não é técnica, portanto, embora faça uso da tecnologia.

É preciso esclarecer que, embora a tecnologia viabilize o fluxo de informação, a ênfase das estratégias das instituições de ensino superior não deve ser o uso operacional da tecnologia. Com efeito, conforme estabelecido no Fórum Mundial da Educação (UNESCO, 2000):

"Os oradores enfatizaram que a tecnologia é apenas uma ferramenta, e que seu sucesso no aperfeiçoamento da propagação de educação de qualidade depende da qualidade das decisões prévias referentes aos objetivos, metodologias, e conteúdos educacionais. Como enfatizado por um orador, nenhuma tecnologia pode consertar más filosofias e práticas educacionais, nem compensar a falta de comprometimento político." (pág 17, tradução direta do original em inglês).

A habilidade fundamental exigida dos egressos dos cursos superiores é a capacidade de continuarem a expandir seu corpo de conhecimento de forma vitalícia, adequando-o ao exercício da profissão. É necessário, portanto, que saibam aprender por si mesmos.

A formação profissional extrapola o curso de graduação, sendo atualizada constantemente no decorrer da atuação profissional. Trata-se de um modelo diferente do

conteudista, pois prevê em seus princípios fundamentais que a estrutura curricular e a organização das disciplinas devem contemplar não apenas os conteúdos, mas o desenvolvimento da capacidade de incorporar conhecimento novo.(UNESCO, 1998; UNESCO, 2000; UNESCO - ILO¹, 2002).

Ensinar a transformar informação em conhecimento

A capacidade de incorporar conhecimento é determinada pela relação estabelecida entre o sujeito que o procura e a informação disponível para obtê-lo. É importante considerar brevemente a distinção entre informação e conhecimento. Não se trata aqui de adentrar este tema, que é demasiado complexo para os propósitos deste trabalho. Operacionalmente, aqui se define informação como toda forma de conteúdo inteligível. Em geral, vincula-se à informação um suporte, que a contém e, no caso da informação em trânsito, uma fonte e um destino. A esta concepção associa-se a idéia de fluxo informação num meio suporte. No caso do objeto de estudo deste projeto, a informação está contida num software, ou seja, em suporte digital, podendo ser transmitida, por exemplo, através de uma rede de computadores.

O termo conhecimento também será definido operacionalmente para os propósitos deste trabalho. Conhecimento é o resultado do usufruto da informação, sendo possível, a quem o possui, aplicá-lo num contexto específico. Na definição adotada aqui, o conhecimento é próprio a um indivíduo ou grupo de indivíduos que o produziram e incorporado a partir de um conjunto de informações.

¹ International Labor Organization - Organização Internacional do Trabalho.

Segundo estas concepções, o conhecimento é fruto da relação que os indivíduos estabelecem com a informação, através de sua conversão. Este processo, que é um processo de apropriação da informação, pode ser mediado ou não por outros indivíduos.

Durante toda a formação de um indivíduo, do início da vida escolar até seu egresso de uma instituição de ensino superior, a aquisição de informação e sua apropriação como conhecimento é mediada pelo contexto formativo das instituições.

Para continuar sua formação de forma vitalícia, o indivíduo deve ser capaz de transformar informação em conhecimento na ausência de um tutor que intervenha na sua relação com a informação. Trata-se, portanto, de incluir nos objetivos do ensino superior o desenvolvimento das habilidades envolvidas na pesquisa, seleção e aplicação de informações. Dito de outra forma, incluir nos objetivos do ensino superior o desenvolvimento do raciocínio crítico frente à informação.

Alfabetização digital

Embora a solução dos desafios impostos às instituições de ensino superior não seja exclusivamente tecnológica, seria ingênuo ignorar as eventuais contribuições da tecnologia para resolvê-los. Para os propósitos deste trabalho, salienta-se a tecnologia de processamento digital da informação.

É fato que, suportada em meio digital (digitalizada), a informação pode ser acessada, disseminada, organizada e produzida com maior eficiência. A tecnologia digital pode, então, contribuir para o desenvolvimento da capacidade de transformar informação em conhecimento.

A luz desta contribuição, define-se o termo alfabetização digital como a habilidade de utilizar a tecnologia digital para localizar, organizar, avaliar criticamente e utilizar a informação na resolução de problemas, pesquisa, tomada de decisões e desenvolvimento profissional contínuo (Kasowitz-Scheer & Pasqualoni, 2002; Eisenberg M. B. & Johnson, 2002).

Esta definição esclarece que incluir num curso superior as habilidades necessárias para o usufruto pleno da tecnologia vai além do treinamento técnico no uso de máquinas e softwares. Portanto, a consecução dos objetivos relacionados ao uso da tecnologia está subordinada ao desenvolvimento do raciocínio crítico.

A alfabetização digital não é apenas um objetivo no currículo dos cursos de nível superior, sendo considerada um fator estratégico, tanto para os projetos econômicos de países em desenvolvimento, quanto para a manutenção da hegemonia dos países desenvolvidos. Com efeito, a relevância estratégica da alfabetização digital se explicita na seguinte declaração:

“A saúde da economia Norte Americana no século XXI e no presente dependem diretamente do quão ampla e profundamente os norte-americanos são “alfabetizados para o séc. XXI”, o que inclui sólidas habilidades acadêmicas, de pensar, refletir, trabalhar em grupo, bem como a proficiência no uso da tecnologia - National Alliance of Business” (The CEO Forum on Education and Technology Report: School Technology and Readiness, pág. 9, tradução direta do original em inglês)

Adicionalmente, segundo a ILO, das habilidades correspondentes à alfabetização digital dependem a manutenção e criação dos postos de trabalho no século XXI. (UNESCO-ILO, 2002).

1.2. Desenvolvimento de softwares de ensino que contemplam posturas críticas diante da informação

Nas seções anteriores foi discutida a importância das habilidades envolvidas no posicionamento crítico diante da informação. Foi sugerido também que o desenvolvimento de tais habilidades deve ser contemplado nos cursos das instituições de ensino superior para que estas possam adequar-se aos desafios impostos pela sociedade da informação.

Adicionalmente, foi proposto que a tecnologia digital pode ser usada como uma ferramenta valiosa neste processo.

Nesta seção serão discutidas características desejáveis em softwares que sirvam aos métodos de ensino dedicados ao desenvolvimento de posturas críticas diante da informação.

Nesta e em outras discussões deste trabalho serão utilizados termos definidos na taxonomia de Bloom para os objetivos educacionais. É conveniente, portanto, abordá-los, ainda que de forma operacional.

1.2.1 A taxonomia de Bloom para os objetivos educacionais

Bloom e seus colaboradores propuseram classificar os objetivos educacionais quanto à sua natureza e complexidade. Tal classificação é conhecida como taxonomia de Bloom (Bloom et al., 1956).

Visando cobrir as diferentes habilidades envolvidas no processo de aprendizado três domínios foram propostos para classificar os objetivos educacionais quanto à sua natureza. Estes domínios estão definidos a seguir:

- a) domínio afetivo: referente às emoções, sentimentos e relações estabelecidas com valores apresentados no processo de instrução. Manifesta-se por meio de interesses, atitudes ou valores.
- c) domínio psicomotor: referente às habilidades motoras e destrezas de manipulação.
- b) domínio cognitivo: relaciona-se a atividades vinculadas à memória ou reconhecimento e à capacidade e habilidades intelectuais como resolver problemas e reorganizar conceitos ou métodos.

A ênfase deste trabalho está nos objetivos educacionais relacionados ao domínio cognitivo, cabendo, portanto, esmiuçá-los um pouco mais.

O domínio cognitivo divide-se em seis níveis de complexidade, apresentados no diagrama a seguir:

Maior Complexidade	Síntese	Avaliação
	Análise	
	Aplicação	
	Compreensão	
Menor Complexidade	Conhecimento	

Figura 1.2-1: Níveis de complexidade de Bloom para os objetivos educacionais

São pertinentes as seguintes observações gerais sobre a taxonomia de Bloom para o domínio cognitivo:

- 1) os níveis mais complexos são os de Síntese e de Avaliação, sendo considerados equivalentes;
- 2) o nível cognitivo menos complexo é o de Conhecimento;
- 3) os níveis são progressivos e interdependentes, ou seja, um nível suporta os níveis superiores e é suportado pelos inferiores, de tal forma que a consecução de um objetivo educacional em um nível depende de níveis menos complexos;
- 4) os níveis referem-se ao processo de aprendizagem, e não aos conhecimentos prévios, isto é, caracterizam o que foi aprendido pelo aluno, não a sua estrutura cognitiva.

A cada um dos níveis cognitivos está relacionado um conjunto de habilidades cognitivas. Manifestas através das atividades desempenhadas pelos alunos, estas habilidades classificam a consecução dos objetivos educacionais em um determinado nível cognitivo. Cabe, portanto, descrever sucintamente os níveis cognitivos e as habilidades a que estão relacionados.

Nível de Conhecimento

Trata-se do nível menos complexo da taxonomia e relaciona-se a processos de reprodução da informação apresentada. Está associado a solicitações como defini; reconheça; identifique; rotule; examine; mostre; liste.

Nível de Compreensão

Associa-se a processos que requerem modificações (elaboraões) de uma informação, de modo que seja possível representá-la de outra forma ou estabelecer relações de causa efeito a ela relacionadas. O nível de Compreensão está vinculado a solicitações como inferir, generalizar, deduzir implicações e conseqüências.

Nível de Aplicação

Associa-se a processos que requerem transposições de uma informação de caráter geral para uma situação específica e, sobretudo, nova. Está relacionado, por exemplo, à aplicação de uma Lei científica para explicar um fato experimental. O nível de

Aplicação está associado a solicitações como, ilustre, aplique, solucione, demonstre, construa.

Nível de Análise

Associa-se a processos que requerem o desmembramento da informação em componentes inter-relacionados, como, por exemplo, a classificação de um grupo de substâncias químicas quanto às suas propriedades físico-químicas. O nível de Análise está relacionado a solicitações como investigue, compare, classifique, relacione, agrupe, diferencie, organize.

Nível de Síntese

Associa-se a processos que requerem o desmembramento da informação em elementos, seguido do seu reagrupamento para compor um conjunto novo e bem caracterizado. Vincula-se, por exemplo, à preparação de um projeto. O nível de Síntese está relacionado a solicitações como crie, imagine, produza, formule uma hipótese, combine, construa.

Nível de Avaliação

Considerado o nível mais complexo da taxonomia de Bloom, associa-se a processos que requerem a construção de critérios para a averiguação e confronto de teorias, dados e informações. Os critérios podem ser inerentes ao objeto avaliado ou externos a este. Um exemplo é o julgamento do melhor modelo científico para explicar

um dado fenômeno. O nível de Avaliação está relacionado a solicitações como decida, escolha, critique, interprete, discuta, julgue.

Os níveis cognitivos estabelecidos na taxonomia de Bloom não são inerentes aos conceitos envolvidos no processo educacional, de modo que um mesmo conceito pode ser aprendido em diferentes níveis por diferentes alunos ou turmas de alunos.

Neste trabalho, a taxonomia de Bloom será utilizada na caracterização da eficiência do software, tomando como parâmetro as suas contribuições potenciais ao aprendizado dos princípios físico-químicos de alguns métodos experimentais de Bioquímica.

1.2.2 Características de softwares de ensino com objetivos educacionais em níveis cognitivos superiores

Tendo em vista as definições apresentadas pela taxonomia de Bloom, é possível propor algumas características desejáveis em softwares que se prestem ao desenvolvimento de habilidades relacionadas a níveis cognitivos mais complexos do que o Conhecimento e a Compreensão.

Possibilitar ao aluno concluir, e não apenas ser informado

Segundo a taxonomia de Bloom, softwares que se limitam à apresentação de conteúdo digital não oferecem em si grandes oportunidades para que níveis superiores ao nível de Conhecimento sejam atingidos. Para que níveis como o de Aplicação ou superiores sejam atingidos é necessário que a estrutura do software apresente seu conteúdo de tal forma que o aluno seja solicitado a examiná-lo, aplicá-lo e compará-lo.

Um dos fatores determinantes na solicitação de tais atitudes é a interatividade do software. A interatividade pode ser definida rapidamente como o conjunto de respostas programadas às ações do usuário. A interatividade é discutida em detalhes no capítulo 2.

Comprometimento epistemológico

Segundo Eisenberg & Johnson *"a aquisição efetiva das habilidades relacionadas à alfabetização digital exigem: relação direta com o conteúdo específico da área do conhecimento; relação com um modelo sistemático e lógico de organização da informação"* (Eisenberg & Johnson, 2002).

Do fragmento acima, conclui-se que não é possível desenvolver as habilidades cognitivas que suportam o raciocínio crítico se estas estiverem desvinculadas de um corpo de informações específicas.

Esta constatação não é, ao contrário do que possa parecer, um entrave. Trata-se efetivamente de uma solução, pois condiciona o desenvolvimento de habilidades cognitivas ao ensino de uma área específica do conhecimento. Portanto, o ensino de

todas as áreas de conhecimento pode integrar-se harmonicamente ao ensino de habilidades. Sendo assim, não é necessário descaracterizar o conteúdo específico para fazer face aos desafios impostos às instituições de ensino superior.

A aplicação deste princípio ao desenvolvimento de softwares sinaliza um estreito compromisso entre o conteúdo tratado no software e a sua interatividade.

Trata-se da incorporação, nos objetivos do software, do conteúdo específico da área, visando facilitar a sua conversão em conhecimento nos processos instrucionais de que fizer parte. Há, portanto, um comprometimento epistemológico do software com a área de conhecimento.

Contemplar diferenças entre os alunos

O alunado não é homogêneo, por mais semelhantes que sejam seus membros quanto à identidade cultural e ao histórico escolar prévio. Portanto, para que possa ser útil no processo instrucional, o software deve contemplar diferenças no alunado, sobretudo em relação às seguintes características:

- a) conhecimentos prévios: são os conhecimentos adquiridos no histórico escolar pregresso dos alunos. Os conhecimentos prévios variam em relação à abrangência e ao nível cognitivo em que foram aprendidos;
- b) habilidades cognitivas: são as habilidades específicas dos alunos, como, por exemplo, a interpretação de gráficos e o raciocínio espacial tridimensional;
- c) capacidade de percepção: é uma das habilidades relacionadas ao domínio afetivo da taxonomia de Bloom;

d) motivação: também relacionado ao domínio afetivo, manifesta-se na expectativa dos alunos frente ao conteúdo do software e à atividade em que será utilizado. No caso do ensino superior, a motivação é muito vinculada às projeções que o aluno faz sobre a relevância do conteúdo do software no exercício da profissão.

Servir a diferentes estratégias de ensino

A mudança de modelo do ensino conteudista para o ensino dedicado ao desenvolvimento do raciocínio crítico não é um processo automático frente às novas exigências da sociedade da informação. Embora muitos membros da comunidade acadêmica das instituições de ensino declarem ser favoráveis à sua implementação, torná-la efetiva é um processo gradual. Num contexto de mudança, é desejável que o software seja uma ferramenta útil tanto para os membros da comunidade acadêmica que já adotem estratégias voltadas para o desenvolvimento do raciocínio crítico quanto para aqueles que optam por estratégias mais conteudistas.

1.3 Pesquisa e desenvolvimento de softwares de ensino

Produção x Desenvolvimento

O desenvolvimento de softwares de ensino que atendam às características citadas na seção anterior é uma atividade que extrapola os limites meramente técnicos da

produção de conteúdo digital. Trata-se de um processo que incorpora características próprias da atividade de pesquisa, tais como:

- a) parte de pressupostos teóricos e de observações de fenômenos que motivam o processo investigativo;
- b) através de dados obtidos por métodos de pesquisa, busca refutar ou aceitar as premissas iniciais;
- c) resulta em conclusões que podem ser divulgadas à comunidade científica para apreciação, dando continuidade a novos projetos e novas indagações.

Os softwares resultantes deste processo são ditos *desenvolvidos*, diferenciando-se daqueles resultantes de processos não investigativos, ditos *produzidos*.

O desenvolvimento de softwares no contexto da pesquisa científica é apontado como um dos fatores essenciais para que sejam obtidos softwares capazes de atender as demandas educacionais da sociedade da informação (UNESCO, 2000).

O método de pesquisa adotado neste trabalho

O método de pesquisa adotado neste trabalho foi organizado nas seguintes etapas:

1) desenvolvimento do software: nesta etapa é desenvolvido o conteúdo digital do software. O desenvolvimento do software inclui a seleção e organização de conteúdo específico (no caso, os métodos experimentais de Bioquímica) e o planejamento da interface segundo os princípios do ensino dedicado ao desenvolvimento de habilidades cognitivas. Uma vez estabelecidos o conteúdo e a interface do software, inicia-se a

produção do conteúdo digital. O capítulo 2 desta tese trata em detalhes do desenvolvimento dos softwares.

2) avaliação do software com alunos de graduação: esta etapa tem vital importância, conferindo ao trabalho o viés científico. Por meio do método de avaliação desenvolvido neste trabalho (apresentado no capítulo 3), os softwares são avaliados com alunos de graduação para o estabelecimento de parâmetros que permitam identificar em que nível cognitivo os objetivos instrucionais do software foram atingidos.

3) reflexão e aperfeiçoamento: uma vez avaliado, o método de desenvolvimento dos softwares pode ser aperfeiçoado, podendo ser modificadas suas premissas.

Este método resulta em dois produtos fundamentais. Um deles é o conhecimento sobre o desenvolvimento e a utilização de softwares no ensino de Bioquímica, e o outro é o software em si. Trata-se, portanto, de um método de pesquisa com enfoque bastante aplicado.

1.4 Uso de softwares e as aulas de laboratório nas disciplinas de Bioquímica

As aulas de laboratório permitem atender a diversos objetivos educacionais, entre os quais o contato direto com o método científico, o desenvolvimento das destrezas de manipulação - objetivos psicomotores, segundo a Taxionomia de Bloom (Bloom et al, 1956) - e o conhecimento das possibilidades técnicas para a solução experimental de um problema. Além disto, são naturalmente motivadoras, concretizam conceitos teóricos e aproximam o aprendizado da pesquisa.

O ensino prático da Bioquímica apresenta importância especial, por tratar-se de uma ciência eminentemente experimental e porque muitas das técnicas originadas da pesquisa bioquímica converteram-se em ferramentas de uso muito expandido, servindo a extensas áreas do conhecimento.

Diferentes ementas de Bioquímica parecem, entretanto, estar em contradição com a importância experimental da disciplina. A porcentagem de aulas de laboratório é pequena e, mais grave, a diversidade de técnicas exploradas nestas aulas fica muito aquém do desejado. As razões desta situação são múltiplas. Em virtude do seu alto custo, os equipamentos disponíveis nos laboratórios didáticos são, em geral, ultrapassados e limitados em número. Os reagentes (enzimas, material radioativo, etc) são caros. Experimentos mais completos e complexos são operacionalmente difíceis de serem levados a cabo, pela mencionada precariedade de equipamentos dos laboratórios de ensino e pelo longo tempo que exigem, sobrecarregando as já saturadas disciplinas de graduação. Os professores vêm-se, por consequência, limitados no planejamento de experimentos de laboratório que, muitas vezes, restringem-se a demonstrações e/ou enfatizam dosagens simples, medidas por espectrofotometria. E os estudantes ficam privados do contato com as técnicas atuais de uso corrente na investigação bioquímica.

Uma das alternativas oferecidas para os experimentos reais de Bioquímica é a utilização de *dry labs*. Esta estratégia permite desenvolver nos estudantes a capacidade de planejar experimentos e interpretar seus resultados. Atende, portanto, a intenção de explorar o método científico. Seu emprego permite mudar o paradigma vigente em grande parte das aulas práticas, transferindo o centro de importância da manipulação para o planejamento do experimento e a interpretação de seus resultados. A estratégia,

naturalmente, não possibilita a consecução de objetivos psicomotores. Os objetivos deste domínio têm, entretanto, importância relativa, dependendo da habilitação considerada. Para alunos de algumas habilitações (Odontologia, Educação Física, Medicina, entre outras) o aprendizado da manipulação não precisa ser prioritário, já que são reduzidas as oportunidades profissionais de execução das técnicas. Em contraposição, o aprendizado dos princípios das técnicas é relevante para os alunos de qualquer curso básico de Bioquímica, pois permite não apenas compreender os experimentos através dos quais os conhecimentos foram produzidos, mas as potencialidades que estas mesmas técnicas contêm para o esclarecimento de problemas ainda sem solução.

O emprego de *dry labs* clássicos, orientados por artigos de periódicos, não é, entretanto, a metodologia de escolha quando se deseja explorar os princípios físico-químicos nos quais as técnicas estão baseadas. Entre as alternativas viáveis para a execução de *dry labs*, o Ensino Assistido por Computador (CAI) apresenta-se como uma das mais atraentes. Ainda que as conseqüências da informatização sobre a Universidade sejam incertas e polêmicas (Noam, 1995), sua instalação como recurso pedagógico é fato consumado. Uma das possibilidades de utilização da informática é a *simulação* (Valente, 1999). Neste caso, a escolha do fenômeno e do modelo é feita *a priori*, e não pelo aprendiz, como na *modelagem*. As simulações são estratégias convenientes para a construção de softwares visando a realização de experiências virtuais.

Os experimentos virtuais apresentam algumas vantagens em comparação com as práticas de laboratório.

O tempo de realização dos “experimentos” é pequeno. Conseqüentemente, o número de variáveis que podem ser testadas é grande. Dispondo de resultados, os

estudantes podem desenvolver a habilidade de interpretação para, imediatamente, passar para o planejamento de novos testes.

O procedimento é pouco oneroso já que os softwares, uma vez desenvolvidos, são de utilização ampla e praticamente sem custo.

Desobriga a utilização de material biológico (células, animais), permitindo a exploração de técnicas mesmo sem uma infra-estrutura de suporte (biotério, cultura de células, etc.) e ajustando-se às diretrizes internacionais de racionalização do emprego de animais de experimentação (Ninomiya & Inomata, 1998).

Naturalmente, não se preconiza a completa substituição das atividades práticas, que têm atributos próprios e insubstituíveis. Um currículo contendo proporções adequadas dos dois tipos de estratégia poderia atender de modo completo o desenvolvimento de habilidades diferentes.

1.5 Objetivos deste trabalho

O objetivo deste trabalho foi estabelecer um método de desenvolvimento de softwares instrucionais segundo princípios de ensino que favorecem posturas críticas diante da informação.

Os softwares desenvolvidos neste trabalho versam sobre técnicas experimentais de Bioquímica. Utilizados em estratégias baseadas na discussão em grupos, os softwares contribuem para a consecução dos seguintes objetivos num curso de Bioquímica:

- i- desenvolvimento nos estudantes das habilidades de planejamento de experimentos e interpretação de seus resultados;

- ii- compreensão dos princípios físico-químicos nos quais as técnicas se baseiam;
- iii- capacitação dos usuários a tomar decisões sobre os procedimentos mais eficazes na purificação e/ou caracterização de moléculas de interesse bioquímico.

Capítulo 2

Desenvolvimento dos Softwares

2.1 Produção de conteúdo digital

Esta seção dispõe aspectos técnicos e considerações gerais referentes à produção do software, enfatizando a produção do conteúdo digital.

2.1.1 Equipamentos e Programas

Microcomputador

Foi utilizado um microcomputador padrão IBM-PC, marca genérica, com a seguinte configuração: processador Intel Pentium III 1,4 MHz; memória RAM de 256 Mbytes.

Programas

Os softwares apresentados foram inteiramente produzido no software de autoria Flash© (Macromedia Inc, <<http://www.macromedia.com>>).

2.1.1 Produção de Imagens

Embora não seja condição suficiente para o sucesso de um software com objetivos educacionais, a boa qualidade da apresentação visual é fundamental para o aproveitamento pleno das vantagens do meio suporte digital.

Ainda que o enfoque principal deste projeto não seja os aspectos estéticos e iconográficos do software, especial atenção foi dada para se estabelecer uma convenção gráfica agradável e esclarecedora para o usuário.

Todos os símbolos, ícones e códigos de cores adotados no software foram criados visando a melhor relação entre clareza e inteligibilidade, ocupando o menor tamanho (quilobites, kb) possível.

As fotografias utilizadas na seção introdutória e laboratório real foram produzidas com recursos técnicos locais utilizando-se uma câmera fotográfica digital Sony modelo Mavica.

O principal referencial estético para as convenções gráficas foi a Escola Bauhaus, pela sua clareza, simplicidade e elegância (informações extraídas de <<http://www.bauhaus.de/>> e <<http://www.bauhaus-dessau.de>> no período de 2001 a 2003).

2.2 Desenvolvimento da interface

Tendo em vista os objetivos deste trabalho, os softwares desenvolvidos foram concebidos como ferramentas para o ensino de Bioquímica, sendo o centro das discussões referentes ao seu desenvolvimento suas características instrucionais. Esta

perspectiva define o software como um instrumento de apresentação de conteúdo específico em meio digital. A discussão sobre o seu desenvolvimento não prioriza, portanto, os aspectos técnicos de programação, sendo estes meros acessórios em relação às questões instrucionais. Inclusive, convém ressaltar que, do ponto de vista da Ciência da Computação, o desenvolvimento dos softwares discutidos neste trabalho não agrega nada de relevante, seja em relação aos algoritmos, métodos ou soluções técnicas adotadas.

Do ponto de vista instrucional, o software é dividido em duas partes distintas, porém intimamente relacionadas: o conteúdo e a interface de acesso ao mesmo.

O conteúdo é o corpo de informações sobre as quais versa o software, isto é, os princípios físico-químicos dos métodos experimentais de Bioquímica, em especial, dos seguintes métodos cromatográficos: cromatografia de permeação em gel (ou de exclusão por tamanho, como também é conhecida), cromatografia de afinidade e cromatografia de troca iônica.

A interface de acesso ao conteúdo é o mediador entre este e o usuário, modelando a forma como o usuário obterá as informações disponíveis no software.

É através das características da interface de acesso ao conteúdo que as concepções de ensino que norteiam este trabalho podem ser aplicadas no desenvolvimento do software. A interface de acesso ao conteúdo é, por assim dizer, o objeto central da discussão sobre o desenvolvimento dos softwares.

Sendo assim, o ponto de partida para o desenvolvimento dos softwares envolvidos neste trabalho foi a concepção da sua interface. A interface de um software será entendida nesta discussão como o conjunto de elementos abstratos, expressos em meio eletrônico, através dos quais os conteúdos específicos, sobre os

quais versa o software instrucional, são apresentados ao usuário. Segundo esta concepção, a interface controla o acesso do usuário ao conteúdo e, portanto, terá significativa influência no seu usufruto. Em se tratando de softwares instrucionais, dedicados ao ensino de Bioquímica, o usufruto do conteúdo é idealmente a sua conversão em conhecimento, manifesto pela compreensão dos princípios físico-químicos dos métodos experimentais mencionados.

A interface de acesso ao conteúdo compreende, além da sua organização, a estrutura de interatividade e seus elementos (discutida adiante), bem como os textos, símbolos, sons, animações, figuras estáticas, e quaisquer eventos decorrentes de solicitações ao usuário ou de comandos pré-determinados no código de programação do software. Trata-se, portanto, de um corpo amplo e flexível que reveste o conteúdo e o apresenta ao usuário. Por conveniência e clareza, a seguinte divisão será adotada para organizá-lo:

- 1) Elementos de organização de conteúdos: correspondem à estrutura de organização dos conteúdos em módulos e unidades, e o sistema de indexação e hierarquização dos tópicos.
- 2) Elementos de construção de conteúdos: correspondem à estrutura de interatividade (discutida a seguir), as animações, figuras estáticas, textos, menus de navegação, botões e demais elementos que constituem o suporte digital e são continentes do conteúdo específico.
- 3) Eventos: correspondem às seqüências de ações que modificam os elementos de construção (item 2, acima). Das categorias apresentadas, esta categoria é a mais abstrata e também a mais dinâmica. Sua inclusão como um grupo da interface se deve ao fato de estar vinculada diretamente as categorias

anteriores. Porém, o que a distingue de uma mera decorrência das destas é o fato de que os eventos são os elementos responsáveis por uma percepção efetiva da interface, sendo, portanto, um elemento fundamental da mesma.

Do ponto de vista da atividade de desenvolvimento dos softwares, é necessário levar em conta, além dos princípios de ensino adotados, sua aplicação nos contextos mais comuns. Tendo em mente as considerações sobre a utilização de softwares no ensino de Bioquímica apresentadas na Introdução deste trabalho, devemos observar que a interface dos softwares desenvolvidos visa contemplar tanto a utilização em aulas expositivas típicas quanto à utilização em aulas que privilegiam métodos participativos como estratégia didática.

Naturalmente, o contexto de aplicação dos softwares desenvolvidos é uma diretriz para a concepção de sua interface, e, portanto, se estende a todos os seus elementos.

2.2.1 Organização do conteúdo

Cada um dos três softwares desenvolvidos encerra em si uma técnica cromatográfica utilizada na purificação de proteínas: cromatografia de permeação em gel, cromatografia de troca iônica e cromatografia de afinidade. Quando vinculados a um menu principal, podem ser associados a um contexto mais amplo, dos métodos cromatográficos, ou dos inúmeros métodos de purificação de proteínas, como unidade de conteúdo de uma "biblioteca de métodos experimentais".

Através desta organização, o conteúdo de cada unidade pode ser acessado de maneiras variadas, podendo adequar-se às diferentes situações de utilização. No caso de uma aula expositiva, cabe ao expositor controlar a apresentação das unidades de conteúdo e de seus subtópicos, através do acesso à biblioteca de técnicas. No caso de uma aula que privilegie métodos participativos, o acesso às unidades de conteúdo na "biblioteca de técnicas" é determinado pela proposta da discussão, podendo esta ser orientada por problemas, por exemplo. Nos dois casos, há ainda há possibilidade de dissolver o elemento unificador da "biblioteca de técnicas", acessando-se as unidades de conteúdo isoladamente. Há, portanto, diversos níveis de abrangência na estrutura de organização das unidades de conteúdos, determinados pelo contexto de sua utilização. Esta questão é fundamental, sendo tratada em detalhes na seção "Avaliação dos softwares desenvolvidos" desta tese.

Para as finalidades deste trabalho, os três softwares desenvolvidos foram organizados como unidades de conteúdo de uma "biblioteca de técnicas", tal qual o exemplo mencionado anteriormente. Desta forma, cada unidade de conteúdo desenvolvida vincula-se a uma estrutura geral, onde pode ser localizada e consultada facilmente. Assim, o menu "biblioteca de técnicas" desempenha as funções de contextualizador e indexador das unidades de conteúdo. Convém frisar que esta organização foi escolhida para avaliar os softwares com alunos de graduação, a fim de que se pudesse verificar a influência da abrangência de utilização na eficiência instrucional dos softwares, discutida em detalhes na seção "Avaliação dos softwares desenvolvidos".

Com algumas variações (discutidas em cada caso), os softwares desenvolvidos têm o conteúdo organizado em três seções distintas, descritas a seguir.

Seção "Introdução"

Na introdução são apresentadas informações genéricas e básicas sobre a técnica em questão, que se aproximam, de maneira geral, a uma definição ilustrada da técnica, através de seu aparato experimental mínimo.

Seção "Princípios"

Nesta seção é apresentado um conjunto de informações subdividido em três categorias:

- a) "Laboratório real", visando elucidar ao aluno as etapas experimentais básicas de um procedimento típico onde a técnica é utilizada. Como o interesse é centrado nos princípios da técnica, pormenores experimentais foram omitidos.
- b) "Laboratório Virtual", visando à execução de experimentos virtuais, através de um simulador simplificado.
- c) "Modelo Microscópico", cuja finalidade é concluir o módulo introdutório com a apresentação do fenômeno em escala microscópica. Nesta etapa são introduzidos os princípios físico-químicos envolvidos na técnica em questão.

Em seus três tópicos, a seção "Princípios" visa propiciar o aprendizado dos princípios físico-químicos da técnica em questão no nível cognitivo de Compreensão (Bloom et al., 1956).

Seção "Aplicações"

Esta seção visa propiciar o aprendizado dos princípios físico-químicos da técnica em questão no nível cognitivo de Aplicação, através de exemplos de seus usos mais comuns, nos quais os princípios físico-químicos são exigidos em contextos diferentes daqueles abordados na seção "Princípios".

O conjunto de conteúdos reunidos nas seções "Introdução", "Princípios" e "Aplicações" é, por assim dizer, um conjunto de informações fundamentais sobre uma dada técnica.

A Figura 2.2-1 ilustra a estrutura geral de organização dos conteúdos dos softwares produzidos, agrupados como unidades de conteúdo de uma "Biblioteca de técnicas", tal qual foi avaliado com alunos de graduação:

Figura 2.2-1: estrutura geral da Biblioteca de técnicas e suas unidades de conteúdo.

2.2.2. Elementos de construção de conteúdos: a estrutura de interatividade

A contribuição do software para o aprendizado dos princípios físico-químicos das técnicas experimentais abordadas depende, em grande parte, das possibilidades de reflexão do usuário sobre o conteúdo apresentado. Idealmente, após a apresentação de um conjunto de informações, deve haver uma etapa de análise sobre seu sentido, antes da apresentação de um novo conjunto de informações. Numa aula expositiva dialogada, esta etapa pode ser, por exemplo, um período de discussão motivado por questões levantadas pelo docente. No caso deste software, uma das maneiras de promover a etapa de análise é utilizar recursos computacionais que priorizem a interatividade (Yokaichiya et al., 2000; Galembeck, 1999, Galembeck et al., 1998).

A interatividade pode ser construída partindo-se de princípios simples:

- 1) apresentar uma questão, com no mínimo duas opções de resolução;
- 2) fornecer subsídios para a escolha da resolução;
- 3) avaliar a resolução e disparar uma ação coerente com a questão original.

O processo de refletir sobre a questão, optar por uma resolução, e obter uma ação do software como resposta, facilita a análise das informações apresentadas. Este é o princípio para a organizar e produzir conteúdo digital neste trabalho.

Convém esclarecer como este princípio é transposto para a interface do software. Uma forma conveniente de apresentação destes recursos é um diagrama definido aqui como “Estrutura de Recursos de Interatividade” (ERI). Para sistematizar a análise dos recursos de interatividade e facilitar sua comparação, este diagrama será apresentado na discussão da organização do conteúdo de todas as

unidades de conteúdo da "Biblioteca de técnicas", isto é dos softwares desenvolvidos. Desta forma, é possível sistematizar a organização de todos os elementos que compõem a estrutura de interatividade das diversas unidades, expondo suas características e facilitando as discussões. Cada tela do software está identificada de duas maneiras na ERI: uma forma esquemática, enfatizando os recursos de interatividade, e uma forma gráfica, apresentando a imagem reduzida da tela do software. É conveniente que a ERI seja analisada com o software em execução, para que maiores detalhes sejam notados, e para que a percepção dos eventos seja efetiva. Para construir a ERI, foram adotadas as seguintes convenções:

TABELA 2.2-a - Convenções adotadas para a construção de ERIs

Convenção	Significado
Informação	Indica que a função de um elemento* do software é informar, ao propor um questionamento ou subsidiar sua resolução.
Questionamento	Indica que a função de um elemento* do software é apresentar um questionamento.
Mensagem	Indica uma mensagem em linguagem escrita. Quando associado ao Questionamento ou Informação, indica mensagens com estes teores.
Registro de Ação do Usuário	Indica o registro das ações do usuário.
Aquisição/Uso de Dados	Relaciona um elemento* do software ao Registro da Ação de Usuário.
Resposta Frente à Ação do Usuário	Relaciona uma ação do usuário a um evento** na tela.
Direcionamento frente à ação do usuário	Determina a ocorrência de um evento** frente a uma ação do usuário, em função do Registro de Ação do Usuário.

*botões, mensagens, animações, etc; **modificação de elementos na tela.

2.3 Caracterização da interatividade nas unidades de conteúdo

Nesta seção serão apresentados e discutidos em detalhes cada um dos elementos componentes da interface de cada um dos softwares, organizados como unidades de conteúdo de uma "biblioteca de técnicas". Para cada software, doravante referido simplesmente como unidade de conteúdo, será apresentada a ERI de cada tópico.

Como o desenvolvimento da interface é subordinado ao conteúdo específico de cada técnica, também será discutida a seleção do conteúdo, em cada caso.

As soluções computacionais utilizadas no desenvolvimento da interface constam do Anexo A, no qual são apresentadas com ênfase na idéia central dos algoritmos e não no código de programação. Do ponto de vista da produção de conhecimento, embora as contribuições deste trabalho não estejam relacionadas às soluções computacionais, é importante apresentá-las para que sejam documentadas, e para que sejam registrados a natureza e os esforços envolvidos no cotidiano do desenvolvimento deste trabalho.

Para facilitar a identificação de cada tópico, ilustrações com as respectivas imagens ("screen shot") de tela de cada tópico serão mostradas, de modo a fazer uma correspondência direta entre esta discussão e o software. Recomenda-se fortemente, inclusive, que a leitura das seções seguintes seja apreciada em conjunto com a execução do software contido no CD-ROM que acompanha este volume.

2.3.1 Cromatografia de Permeação em Gel

a) Introdução

Conforme apresentado anteriormente na seção 2.2.1, o tópico “Introdução” visa instrumentalizar o usuário com as informações elementares sobre a técnica, indicando as partes fundamentais do aparato utilizado na técnica.

b) Princípios: Laboratório Real

Objetivos: o objetivo do tópico "Laboratório Virtual" é fornecer ao usuário uma dimensão experimental elementar da técnica, isto é, de sua instrumentação e de seus aspectos operacionais, mais aprofundada, porém, do que aquela fornecida na seção "Introdução".

Seleção de Conteúdo

Os conteúdos selecionados para o tópico são as etapas básicas do procedimento experimental de separação cromatográfica em coluna de exclusão por tamanho (Pharmacia, 1991). A opção neste tópico foi salientar as dimensões dos instrumentos e seu aspecto. Este tópico articula-se diretamente com o tópico seguinte, "Laboratório Virtual", uma vez que define seus elementos, isto é, os tubos de coleta de amostra, a coluna, as amostras, e os eventos, tais quais a aplicação da amostra na coluna e sua eluição.

Estrutura de Interatividade

A estrutura de interatividade do tópico é condizente com seu objetivo estrito de informar, e, sendo assim, constitui-se apenas de uma série de menus hierarquicamente organizados. O diagrama abaixo esquematiza a organização dos recursos de interatividade do tópico:

Ressalta-se a estrutura linear de resposta à ação do usuário e a presença de recursos de interatividade dedicados à apresentação de informação.

É relevante considerar ainda que as informações contidas nas legendas estão condicionadas a uma ação (pressionar o botão "legenda"), o que foi introduzido com o único objetivo de conferir flexibilidade em relação às diferenças de conhecimento prévio dos usuários.

c) Princípios: Laboratório Virtual

Objetivos

O objetivo principal do tópico "Laboratório Virtual" é propiciar ao usuário a oportunidade de formular a questão:

"Por que a hemoglobina é eluída mais rapidamente, e em menor número de tubos do que o azul de metileno?" Há, portanto, uma intenção clara de despertar a curiosidade do usuário a partir da observação dos fenômenos simulados.

Seleção de Conteúdo

Tendo em vista os objetivos do tópico, o conteúdo selecionado é a eluição de três amostras virtuais, sendo a amostra "1" constituída de hemoglobina apenas, a amostra "2" constituída de azul de metileno apenas, e a amostra "3" constituída de uma mistura de hemoglobina e azul de metileno. A descrição dos fenômenos de eluição apresentados é semiquantitativa, privilegiando-se as relações entre o comportamento das amostras na coluna e o cromatograma.

Esta maneira de descrever os fenômenos visa estabelecer uma relação de continuidade entre os tópicos da seção "Princípios". Sugere-se uma trajetória conceitual partindo das características macroscópicas do fenômeno de separação cromatográfica, ilustradas no tópico "Laboratório Virtual", rumo ao modelo microscópico que explicita o fenômeno, no tópico "Modelo Microscópico".

Não por acaso, são detalhadas as animações na coluna cromatográfica e nos tubos de ensaio. Considerando-se o a posição deste tópico na trajetória conceitual, vemos que seu papel é de vital importância para que sejam estabelecidas as

correspondências pertinentes entre os conteúdos dos tópicos "Laboratório Virtual" e "Modelo Microscópico".

Estrutura de Interatividade

A ERI do tópico é a seguinte:

Figura 2.3-1: ERI para o tópico "Cromatografia de Permeação em Gel"

A ERI do tópico "Laboratório Virtual" é bastante simples, limitando-se a organizar o conteúdo. Neste tópico, são as inter-relações dos elementos da interface que dão a tônica aos objetivos instrucionais do tópico, criando subsídios para que a pergunta fundamental do tópico, que leva à busca de informações no tópico seguinte, seja propriamente formulada.

Coluna virtual: juntamente com os tubos de ensaio que compõem o cromatograma, no contexto da trajetória conceitual discutida previamente, a coluna virtual é um dos elementos fundamentais de transposição do conteúdo do tópico anterior. Ao representar o fenômeno de separação das amostras, este elemento também é uma das principais fontes de informação do tópico, sendo responsável pelo vínculo com a dimensão concreta da separação.

Cromatograma: o cromatograma é o elemento que contém as informações mais relevantes do tópico, sendo uma representação do dado experimental formal, a partir do qual se constrói um modelo microscópico.

Optou-se em apresentar a escala das abscissas como tubos de ensaio, representando as frações coletadas durante a análise cromatográfica. Esta opção visa possibilitar ao usuário estabelecer uma correlação entre o fenômeno macroscópico e seu registro no cromatograma, isto é, sua formalização como dado científico. Tal correlação se dá por meio dos seguintes artifícios:

- 1) a escala de tubos, expressa qualitativamente, a concentração de cada componente da amostra, estabelecendo relação direta com cada ponto do cromatograma, o que contribui para elucidar seu significado;
- 2) a variação de cores na escala de tubos é sincronizada com os eventos na coluna virtual, o que, associado ao fator 1 acima, estabelece relação direta entre o cromatograma e a separação apresentada na coluna virtual.

Como a coluna está relacionada ao conteúdo do tópico anterior (assemelhando-se a uma de suas fotografias), e como os eventos da coluna estão sincronizados à escala de tubos no presente tópico, estabelece-se um sentido à trajetória conceitual dos tópicos da seção "Princípios": do aspecto concreto ao abstrato e do experimental ao teórico.

Menu de escolha de amostras: este é o elemento da interface que estabelece a interatividade do tópico. Sendo um menu de escolha, exige uma ação do usuário para obter a informação.

O menu de escolha de amostras facilita também a associação dos nomes dos componentes das amostras ao seu comportamento na coluna e seu cromatograma, o que é importante para que se estabeleça uma relação entre este tópico e o tópico "Modelo Microscópico", no qual figuram as mesmas substâncias.

d) Princípios: Modelo Microscópico

Objetivos

Apresentadas as informações que levam ao questionamento sobre o comportamento das amostras no tópico "Laboratório Virtual", este tópico visa dispor informações para respondê-las.

Seleção de Conteúdo

Exercendo o papel duplo de representação animada do modelo microscópico, e de resposta aos questionamentos emergentes do tópico "Laboratório Virtual", o presente tópico define uma relação causal entre o modelo científico que representa e

os dados obtidos a partir de experimentos. Não se propõe aqui adentrar questões filosóficas associadas a esta prerrogativa. Será mantido o viés aplicado deste trabalho, aceitando-se de bom grado as simplificações dele resultantes.

Desta forma, julga-se conveniente e apropriado, para os propósitos da unidade de conteúdo, que o modelo microscópico venha a sanar eventuais dúvidas decorrentes da utilização dos demais tópicos da seção "Princípios". Com efeito, tais dúvidas propiciam entrosamento frutífero entre os tópicos, conferindo-lhes unidade.

Atendo-se aos princípios físico-químicos da técnica e à continuidade da trajetória conceitual estabelecida para a seção "Princípios", as seguintes premissas foram adotadas na representação microscópica do fenômeno:

- 1) as proporções entre as moléculas de azul de metileno e hemoglobina, e entre estas e as esferas do gel na fase estacionária, não foram respeitadas, evitando-se prejudicar a compreensão do fenômeno e sua dinâmica;
- 2) fenômenos de adsorção física foram deliberadamente negligenciados, de modo a enfatizar que são as dimensões das moléculas (o raio hidrodinâmico) os fatores responsáveis pela sua separação;
- 4) a separação ocorre de modo absoluto, isto é, com exclusão ou inclusão total dos componentes da mistura.

Estrutura de Interatividade

A ERI do tópico está apresentada a seguir:

Figura 2.3-2: ERI para o tópico "Modelo Microscópico"

Tal qual a ERI do tópico "Laboratório Virtual", a ERI do tópico "Modelo Microscópico" é simples, limitando-se a organizar o conteúdo. O principal elemento da interface é a animação que representa os fenômenos microscópicos associados à separação, e a interatividade resume-se à possibilidade de controlar o fluxo de informação, por meio de comandos que interrompem e reiniciam a animação.

Os aspectos instrucionais de interatividade mais relevantes deste tópico estão certamente relacionados ao papel que desempenha em relação aos demais tópicos da seção "Princípios", sobretudo por finalizar a trajetória conceitual mencionada.

e) Aplicações: Determinação de Massa Molar

Objetivos

Este tópico visa favorecer a reflexão sobre os princípios físico-químicos da técnica.

Seleção de Conteúdo

A escolha do tema determinação de massa molar se justifica nos seguintes argumentos:

- 1) requer a compreensão dos princípios físico-químicos da técnica;
- 2) trata-se de uma solicitação do princípio físico-químico da técnica em situação diversa à separação de substâncias, favorecendo sua aplicação;
- 3) apresenta o conceito de curva padrão, comum a inúmeros métodos experimentais;
- 4) é uma das aplicações mais comuns da técnica.

Lista de padrões de massa molar: juntamente com o botão intermitente, este elemento coordena a aquisição de informações no decorrer da etapa de construção da curva padrão. Informa, ainda os padrões utilizados.

Cromatograma: é a apresentação gráfica dos dados obtidos na aplicação dos padrões. O cromatograma também é uma resposta às ações do usuário, registrando seu avanço na construção da curva padrão.

padrão	M. molar, kDaltons	log M. molar	Ve, mL
1	670	5,8	1,9
2	258	5,4	4,3
3	44	4,6	6,2
4	17	4,2	7,9
5	1,3	3,1	10,3

Tabela de dados numéricos: com a curva padrão e o cromatograma, compõe um conjunto de informações, diversificadas sobre o mesmo fenômeno.

Curva Padrão: a curva padrão é a informação resultante do processo virtual realizado pelo usuário, indicando a consecução da etapa.

Os pontos da curva padrão atuam como elementos de interatividade ao mostrar os valores numéricos que originaram cada ponto (mediante o repouso do cursor do "mouse"). Este recurso mostra na mesma tela o cromatograma, os dados numéricos, e a curva padrão. Operando em conjunto, estes três elementos têm como objetivo indicar ao usuário as diferentes formas de apresentação dos dados sobre o mesmo fenômeno (a separação), buscando o maior esclarecimento possível a respeito do processo de obtenção de uma curva padrão e do seu significado.

Curva Padrão (Análise): trata-se da mesma curva padrão construída. Porém, a cor foi modificada para enfatizar a nova etapa, e a interatividade dos pontos foi suprimida.

Cromatograma (Análise): além de representar o dado experimental, na etapa de análise, este elemento contém informações sobre a interpretação de cromatogramas.

Ao se concluir a análise de uma amostra, é também neste elemento que o resultado será informado.

Botão intermitente: as funções deste elemento são, na etapa de construção da curva padrão, alertar o usuário da necessidade de construí-la a partir dos dados, salientando a diferença entre um conjunto de pontos e a curva.

Na etapa de análise, o elemento indica como o usuário deve utilizar a curva padrão a partir do cromatograma da amostra, para que sua massa molar seja efetivamente determinada. A intermitência salienta o papel central da curva padrão nas duas etapas do tópico.

Considerações gerais sobre a ERI do tópico: o tópico divide-se em duas telas principais, que refletem as etapas básicas de um método experimental envolvendo uma curva padrão: construção da curva padrão e a análise das amostras. A passagem de uma etapa à outra não é automática, exigindo que a curva padrão seja concluída.

Este recurso constitui uma unidade básica do tipo informação / questionamento / resposta. A informação é dada pela seqüência de eventos na etapa de construção da curva padrão. O questionamento é implícito, já que a questão "*é possível determinar*

a massa molar usando a cromatografia de permeação em gel sem a construção de uma curva padrão?" se coloca pela possibilidade do usuário tentar acessar diretamente a etapa de análise. A resposta do software à ação do usuário é permitir a mudança para a etapa de análise após a conclusão da construção da curva padrão. Como é próprio deste tipo de estrutura de interatividade, a resposta do software à ação do usuário depende do registro de suas ações. Neste caso particular, o software registra a aplicação de padrões de massa molar e a construção da curva, habilitando o acesso à etapa de análise somente após a conclusão daquela etapa. Caso o usuário tente acessar a etapa de análise sem que a curva padrão esteja concluída, o software verifica os registros, e a resposta que o usuário obtém ao tentar acessar a etapa de análise é uma mensagem de alerta. São, portanto, respostas diferentes as ações do usuário, que dependem essencialmente do corpo de informações ao qual este teve acesso.

f) Aplicações: Conceito de K_{af}

Objetivos

O objetivo central do tópico é apresentar uma formalização do princípio físico-químico da técnica, o conceito de K_{af} (constante de afinidade), e sua aplicação através da interpretação de diagramas de intervalo de fracionamento.

Seleção de Conteúdo para o tópico "Separação de substâncias"

Tendo em vista os objetivos do tópico, seu conteúdo específico foi escolhido a partir das seguintes considerações:

- 1) apresenta uma importante formalização do princípio físico-químico da cromatografia de permeação em gel, extrapolando a concepção de exclusão mecânica, bem como parâmetros interpretáveis do cromatograma, tais quais o volume vazio e volume total, além do próprio K_{av} ;
- 2) possibilita tratar o modelo microscópico do ponto de vista do volume acessível da fase estacionária e do caminho médio de diferentes moléculas na coluna;
- 3) a partir desta visão do fenômeno em escala microscópica, possibilita apresentar o caso de inclusão parcial e sua relação com a posição dos picos no cromatograma;

Uma vez apresentados os conceitos que quantificam a separação na coluna, inclui-se sua aplicação através de um exemplo simples e bastante comum no cotidiano daqueles que utilizam a técnica: a escolha da fase estacionária a partir dos diagramas de intervalos de fracionamento.

Estrutura de Interatividade

A ERI do tópico está apresentada abaixo:

Figura 2.3-4: ERI do tópico "Separação de substâncias"

A ERI deste tópico é substancialmente mais simples se comparada à ERI do outro tópico da seção "Aplicações". Foi dada especial atenção à maneira como a informação é disponibilizada ao usuário nas duas etapas principais do tópico: "Conceito de Kaf" e "Separação com colunas diferentes".

Tais cuidados incluem a disponibilização gradual de informação mediante solicitação do usuário e animações detalhadas que visam esclarecer pontos mais abstratos do conteúdo, como as etapas da dedução das expressões de Kaf nas situações limites de inclusão e exclusão total. Além disso, conteúdos mais complexos sobre o assunto são apresentados juntamente com conteúdos mais familiares ao usuário sobre o mesmo assunto, visando facilitar sua compreensão. Por exemplo, apresentados em conjunto, a representação microscópica e o cromatograma facilitam a compreensão da dedução das expressões de Kaf, favorecendo sua compreensão.

Elementos da ERI:

Representação microscópica: este elemento mostra uma representação do fenômeno microscópico, salientando a porção da fase estacionária acessível ao eluído, bem como a trajetória média.

Cromatograma: juntamente com a representação microscópica, permite a comparação qualitativa dos perfis de eluição, e fornece suporte para auxiliar a compreensão das informações da lousa de deduções e mensagens.

$$K_{df} = \frac{(V_e - V_0)}{(V_1 - V_0)}$$

Lousa de deduções e mensagens: elemento que apresenta a formalização do fenômeno de separação através da definição de K_{df} , relacionando-o ao cromatograma e à representação microscópica.

Diagrama de intervalos de exclusão: na etapa de aplicação dos conceitos quantitativos de exclusão, este elemento apresenta a informação principal. Para salientá-la, há um

recurso simples de interatividade: selecionar uma das colunas disponíveis.

Cromatograma (análise): este elemento mostra a informação correspondente à escolha do usuário.

2.3.2 Cromatografia de Troca Iônica

a) Introdução

Assim como na unidade “Cromatografia por Permeação em Gel”, o tópico “Introdução” visa apresentar o aparato básico utilizado numa análise cromatográfica com coluna. Foi utilizada a mesma animação, alterando apenas o conteúdo do texto.

A repetição de conteúdo justifica-se na versatilidade do acesso à "Biblioteca de Técnicas", de modo que suas unidades de conteúdo possam ser acessadas individualmente sem o prejuízo da sua compreensão.

b) Princípios: "Laboratório Virtual"

Objetivos do Tópico

A seção "Princípios" inicia-se com o simulador "Laboratório Virtual". São objetivos fundamentais do tópico:

- reafirmar as etapas principais dos procedimentos experimentais da técnica, já apresentados na Introdução e no Laboratório Real;
- simular resultados típicos da técnica, de modo a criar um contexto para a apresentação do tópico seguinte, o "Modelo Microscópico";
- despertar questões sobre os princípios físico-químicos envolvidos.

O "Laboratório Virtual", portanto, tem como objetivos instrucionais esclarecer a sequência de etapas de carregamento e eluição e suas implicações nos resultados obtidos.

Seleção de Conteúdo para o "Laboratório Virtual"

O conteúdo escolhido para o simulador foi a separação de uma amostra contendo duas proteínas hipotéticas de mesma massa molar, mas com pIs (ponto isoelétrico) diferentes. A amostra a ser analisada assume características esquemáticas para salientar os princípios físico-químicos da técnica, isto é, diferenças nas cargas elétricas de macromoléculas. O exemplo é notoriamente pictórico, porém conveniente, pois, embora incomum, tal amostra não deixa margem para ambigüidades quanto à propriedade explorada na separação: o pI.

Além da escolha adequada das propriedades dos componentes da amostra hipotética, outro item no conteúdo é a forma de eluição. Optou-se pela eluição em etapas, com patamares distintos de concentração. Em princípio, a eluição contínua com gradiente e a eluição em patamares de concentração se prestam para finalidades distintas, sendo a primeira mais indicada para finalidades analíticas e a segunda, para finalidades preparatórias (Pharmacia Amersham, 1999; Roe, 1995).

Levando-se em consideração o público alvo e o caráter introdutório deste tópico, é imprescindível que os conceitos centrais sejam priorizados, evitando abordar conceitos adjacentes que lhes possam sobrepor. Por este motivo, decidiu-se pela eluição mais simples, isto é, a eluição em patamares de concentração, uma vez que a eluição contínua com gradiente de concentração envolve, naturalmente, a compreensão do que é um gradiente iônico, dispersando o usuário dos objetivos instrucionais deste tópico. A eluição com gradiente de concentração é contemplada na seção "Aplicações" da unidade de conteúdo.

Recursos de Interatividade para o tópico "Laboratório Virtual"

Figura 2.3-5: ERI para o tópico "Laboratório Virtual"

A partir da ERI apresentada na Figura 2.3-5, é possível alistar e discutir as inter-relações entre as etapas e elementos envolvidos na interatividade.

Tela de Abertura: a função da tela de abertura é apresentar a atividade e fornecer a informação essencial para o usuário iniciá-la. Por este motivo há apenas um recurso linear de navegação.

Tela Escolha de Coluna: na tela seguinte, Escolha de Coluna, o recurso de interatividade é o registro da escolha do tipo de coluna. Esta solicitação não é uma questão, tal qual definida nos princípios de interatividade. No entanto, o registro da escolha “tipo de coluna”, é um recurso interativo que influencia todos os subsídios e escolhas apresentadas ao usuário nas telas subseqüentes.

Janela de Ajuda: do tipo “pop up” (janela pequena que se sobrepõe aos demais elementos da tela), a janela de ajuda é uma forma eficiente de apresentar informação. Este dispositivo propicia uma breve pausa para consulta do conteúdo, em paralelo aos demais eventos da tela. Embora esteja representado em destaque apenas nesta tela da ERI este é um recurso disponível em todo o tópico "Laboratório Virtual".

Especial cuidado foi tomado com a informação presente na janela de ajuda. Apenas informações fundamentais foram introduzidas ali: a definição de coluna aniônica e catiônica e as características da amostra que possibilitam a separação por esta técnica, isto é, os valores de pI. É comum em recursos como este a seleção automática do conteúdo específico em função da tela onde é acionado. Porém, optou-se por apresentar todo o conteúdo da janela de ajuda em todas as telas. O objetivo é propiciar ao usuário reflexão subjacente à seleção de informações relevantes ao contexto.

Tela Carregando a Amostra: a tela Carregando a Amostra integra os recursos básicos da ERI, e tem como objetivo frisar a necessidade de adsorção da amostra na coluna previamente à eluição. Esta informação poderia ser apresentada

explicitamente na tela, seguida de uma animação representando o carregamento da coluna de troca iônica. Porém, frisando a importância desta etapa, esta é apresentada ao usuário como uma opção: “carregar a coluna com amostra em pH ...” ou “prosseguir com a eluição”. Caso o usuário opte em prosseguir sem carregar a amostra, a mensagem “a coluna não contém amostra” é mostrada. A mensagem é um subsídio para o usuário reavaliar a opção inicial. Neste caso, a interatividade é a resposta obtida pelo usuário após uma ação, e os recursos que a propiciaram são:

- 1) O registro da opção “tipo de coluna”, na tela anterior, define a legenda “carregar coluna com amostra em pH...”, no botão que aciona a animação.
- 2) O registro da ação “carregar a amostra” determina qual evento será disparado quando o usuário acionar o botão próximo: mensagem “a coluna não contém amostra” ou próxima tela (eluição).

Ainda nesta tela, há um recurso de interatividade implícito, que verifica se a animação está concluída. Apenas com a animação concluída é possível prosseguir para a etapa de eluição. Isto impede o usuário de prosseguir para a etapa de eluição com a informação desta tela incompleta.

Etapa de Eluição: A etapa de eluição é o ponto central do tópico, pois envolve diretamente o princípio físico-químico da técnica, o que requer estrutura de interatividade mais complexa, com sobreposição de direcionamentos. Na ERI está representado apenas o caso da coluna aniônica, suficiente para esta análise, que se estende igualmente para a opção coluna catiônica. Todas as telas representam questionamentos com escolhas, uma vez que, carregada a coluna com a amostra, o usuário pode escolher a ordem de eluição das soluções 1,5 M e 0,5 M. Nestas etapas,

o subsídio para uma escolha é o resultado obtido com a escolha da tela anterior. Do ponto de vista da estrutura lógica, é imprescindível haver um ponto de quebra desta sequência, já que o usuário necessita de uma resposta decisiva sobre sua escolha ou sequência de escolhas. As respostas/subsídios são os cromatogramas obtidos por simulação, e a resposta decisiva é a mensagem acionada pelo botão “próximo”. O botão “próximo”, portanto, é o ponto de verificação das opções do usuário, sendo o elemento pivô da interatividade. Embora os cromatogramas deste tópico se assemelhem aos cromatogramas do tópico "Laboratório Virtual" da unidade “Cromatografia por Permeação em Gel”, há diferenças fundamentais. A primeira delas é a mudança dinâmica do cromatograma em função do tipo de coluna e de eluição escolhidos pelo usuário. Na unidade “Cromatografia Permeação em Gel”, os cromatogramas são disparados através de botões, sem interferência de ações prévias do usuário. Nesta unidade, os cromatogramas estão vinculados a ações do usuário na tela de eluição e nas telas prévias. A segunda diferença é a produção gráfica dos cromatogramas (veja Anexo A, dos recursos computacionais).

Os cromatogramas contêm as informações essenciais para a compreensão dos princípios físico-químicos da técnica, uma vez que estabelecem a relação entre a sequência de eluentes e o perfil de separação. A alternativa tradicional para apresentar este tipo de informação seria dispor um cromatograma e uma legenda. A fonte de informação seria o texto e o cromatograma seria meramente ilustrativo. Trata-se de uma alternativa pobre para explorar os conceitos envolvidos na técnica. Além disso, no exercício da profissão o público alvo há de se deparar com a necessidade de extrair informações de cromatogramas, para os quais não haverá

legendas. Para estimular a obtenção de informação a partir do cromatograma, utilizou-se a estrutura interativa apresentada na ERI e descrita a seguir:

A- Se a opção de eluente for a solução mais concentrada (1,5 M):

- 1) A opção é registrada e leva à produção de um cromatograma representando a saída simultânea dos dois componentes da amostra. Nele, esta informação está codificada em pontos e tubos na mesma cor da amostra carregada.
- 2) Ao acionar o botão “próximo” o usuário obtém resposta na forma de uma mensagem cujo objetivo é frisar a eluição simultânea: “Toda a amostra foi eluída”.
- 3) A coluna assume a coloração original (branca).

O cromatograma e a mensagem são as respostas à escolha do usuário. A informação nelas contida é “a separação só é possível se os componentes da amostra se desligarem seletivamente, processo determinado pela concentração de íons no eluente”. Porém, o usuário deve deduzi-la a partir dos seguintes subsídios:

- a) O botão “próximo” assume a legenda recomeçar.
- b) O cromatograma apresenta um único pico com a mesma cor da amostra.
- c) A cor da coluna indica que não há mais amostra adsorvida.

Os subsídios para reflexão fornecidos conduzem ao recomeço do ciclo carregamento e eluição. Neste processo, a sequência de etapas envolvidas se reafirma e o usuário tem a oportunidade de tomar decisões diferentes para o mesmo problema.

B- Se a opção do eluente for a solução mais diluída (0,5M):

- 1) A opção é registrada e leva à produção de um cromatograma representando a saída de um dos dois componentes da amostra.
- 2) Ao acionar o botão “próximo” o usuário obtém resposta na forma de uma mensagem para frisar a eluição parcial: “A análise ainda não foi concluída”.
- 3) A coluna assume a cor complementar ao cromatograma e aos tubos.

A informação “a amostra contém mais de um componente” não é explicitada nas respostas acima, mas o usuário poderá deduzi-las com novos subsídios:

- a) A janela de ajuda informa o número de componentes da amostra.
- b) O cromatograma apresenta um único pico com uma das cores complementares à cor da amostra (azul ou vermelho, dependendo do caso).
- c) A cor da coluna indica que ainda há um componente da amostra a ser eluído.

Restando apenas a opção de eluição com a solução de maior concentração, o usuário pode encerrar a análise da amostra com a coluna escolhida. Neste caso, as respostas obtidas serão:

- 1) A opção é registrada e leva à produção de um cromatograma representando a saída do componente remanescente da amostra.
- 2) Ao acionar o botão “próximo” o usuário obtém resposta na forma de uma mensagem enunciando a conclusão da análise: “Análise concluída”.
- 3) A coluna assume a coloração original (branca).

A mensagem “Análise concluída” e a mudança da legenda do botão “próximo” para “recomeçar” são o ponto de quebra na estrutura interativa onde o usuário obtém uma resposta decisiva. Ao final da análise virtual com um tipo de coluna, os seguintes conceitos são contemplados de forma interativa:

- 1) A necessidade de carregar os componentes da amostra na coluna antes de iniciar eluição.
- 2) A importância da concentração de íons do eluente no êxito da separação.

Embora alguns aspectos do conteúdo estejam convenientemente abordados nos processos descritos acima, resta abordar o princípio físico químico da técnica, formalizado na seguinte questão: “Qual a relação entre os pIs dos componentes da amostra e a ordem de separação?”.

Pelas concepções que norteiam este trabalho, cabe ao usuário formular esta questão, ao utilizar o "Laboratório Virtual", para que possa buscar a resposta ao utilizar o tópico "Modelo Microscópico".

Para tanto, é necessária a execução da análise virtual com os dois tipos de coluna. A pergunta fundamental sobre o princípio físico-químico da técnica depende da comparação entre os cromatogramas obtidos com cada tipo de coluna. Portanto, é a articulação de todos os recursos interativos que pode propiciar a formulação da pergunta fundamental, conduzindo ao "Modelo Microscópico". Por este motivo, há certa insistência na repetição de mensagens e na conclusão das animações antes de permitir avanços de tela, de modo a sublinhar as diferenças nos processos e nos cromatogramas apresentados em cada caso.

c) Princípios: "Modelo Microscópico"

Objetivos do Tópico:

Os objetivos fundamentais do tópico são:

a) rever as etapas experimentais básicas, apresentadas na "Introdução" e detalhadas no "Laboratório Virtual".

b) Fornecer subsídios para a resposta da questão central do tópico anterior:

“Qual a influência dos pIs dos componentes da amostra na sua separação?”

c) Esclarecer que a eluição da amostra é devida ao aumento da concentração de íons.

Seleção de conteúdo para o tópico "Modelo Microscópico"

O conteúdo escolhido para o tópico "Modelo Microscópico" é a separação da mesma amostra usada no tópico "Laboratório Virtual". A escolha é deliberada, visando estabelecer um vínculo de continuidade entre os tópicos da seção "Princípios". Embora, por princípio, existisse a possibilidade do usuário executar primeiro o "Modelo Microscópico" e depois o "Laboratório Virtual", a disposição do índice do tópico no menu da "Biblioteca de Técnicas" direciona a execução na sequência prevista. Um dado que comprova a influência direta da disposição do índice do tópico na sequência de execução dos tópicos é o fato de não ter sido observado, em nenhum caso dos testes de avaliação do software, a utilização dos tópicos em sequência inversa.

Além da relação de continuidade há uma relação de complementaridade consolidada na escolha do mesmo conteúdo, o que se fundamenta em dois princípios distintos:

- a) A natureza do conhecimento científico, segundo a qual os modelos teóricos são formulados a partir de resultados experimentais, e com estes compõem conhecimento sobre os fenômenos observados.
- b) O aprendizado dos conceitos se dá através da reflexão sobre um conjunto de informações apresentado.

O primeiro princípio indica a sequência de execução dos tópicos "Laboratório Virtual" e "Modelo Microscópico", e o segundo é resultado desta. Voltando-nos para o segundo princípio, a escolha do mesmo conteúdo é bastante adequada, uma vez que o usuário já está familiarizado com a sequência de etapas da técnica, podendo concentrar-se no princípio físico-químico que a embasa. Para que isto seja possível, é necessário que a mesma amostra e a mesma sequência de separação componham dois tópicos, possibilitando ao usuário estabelecer uma relação entre os fenômenos simulados no "Laboratório Virtual" e suas representações em escala molecular no "Modelo Microscópico".

Ao executar os dois tópicos, o usuário tem a oportunidade de refletir sobre as representações macroscópicas e microscópicas do mesmo fenômeno, com a mesma amostra e envolvendo os mesmos conceitos. Portanto, a utilização sequencial dos tópicos "Laboratório Virtual" e "Modelo Microscópico" propicia condições para o aprendizado significativo dos conceitos envolvidos.

Recursos de Interatividade para o "Modelo Microscópico"

Figura 2.3-6: ERI do tópico "Modelo Microscópico"

Neste tópico, exceto pela tela de abertura, todas as ações ocorrem na mesma tela, devido em grande parte à preocupação em estabelecer o ponto de vista de um observador hipotético que observa os fenômenos que ocorrem numa secção da coluna cromatográfica.

Tela de Abertura: a tela de abertura tem as mesmas funções da tela de abertura do tópico anterior. Salienta-se apenas o fato de, nesta tela de abertura, a relação entre este tópico e o anterior ser declarada explicitamente ao usuário. Portanto, além de esclarecer os objetivos do tópico, a mensagem da tela de abertura do "Modelo Microscópico" deixa implícito que é recomendável que o tópico anterior tenha sido executado previamente.

Considerações gerais sobre as etapas da análise cromatográfica: a principal característica da ERI do "Modelo Microscópico" é um ciclo de escolhas/eventos que restringe gradativamente o número de opções do usuário no decorrer da apresentação do conteúdo. Este ciclo é uma aplicação integrada de recursos de interatividade e pode ser resumido nos seguintes passos:

- 1) Aquisição de dados de ações do usuário.
- 2) Apresentação de opções.
- 3) Escolha do usuário.
- 4) Direcionamento da escolha para:
 - a) apresentação de informações na forma de animações e início de nova etapa de análise ou,
 - b) apresentação de informações em caixa de mensagens do tipo "pop up".

O ciclo acima é o principal instrumento para a criação do ambiente de aprendizado. Em todos os seus passos os mesmos elementos são utilizados. Tais elementos são apresentados a seguir.

Painel de Comandos: este é o elemento organizador de todos os eventos, sendo presente do início ao fim do tópico. O painel centraliza todas as atividades de registro de ações do usuário e também as opções de escolha apresentadas. Como o ciclo ocorre efetivamente no painel de comandos, este passa a ser o elemento principal dos recursos de interatividade da interface do tópico.

Por este motivo, o painel de comandos recebe destaque na tela, através dos seguintes recursos simples:

- a) Todos os botões de acionamento de comandos estão no painel.
- b) O painel pode ser movimentado pelo usuário através do recurso “drag’n’drop” (elementos que podem ser reposicionados na tela quando selecionados pelo mouse com o botão esquerdo pressionado).
- c) O painel adquire aspecto translúcido ao ser reposicionado com o recurso 2) acima.

Os recursos associados ao evento “drag’n’drop” têm como única finalidade destacar o painel de comandos. Há aplicações onde este evento é uma forma de escolha ou faz parte de uma ação do usuário. Neste caso, é apenas uma forma de salientar o painel de comandos.

Representação Gráfica dos Fenômenos Microscópicos: outro elemento de destaque no tópico, apresenta as principais informações. Conta com duas qualidades fundamentais:

- i- apresentação do fenômeno vinculada às ações do usuário;
- ii- clareza na representação gráfica do modelo microscópico.

Para que as qualidades acima sejam contempladas é necessário lançar mão de recursos mais complexos de animação, que envolvem a introdução de algoritmos capazes de modular o movimento das partículas representadas em função das ações registradas na interação do usuário com o painel de comandos (veja Anexo A, dos recursos computacionais).

Caixa de Mensagens: é o elemento de informação e verificação, através do qual o usuário recebe uma resposta do software frente à opção incorreta nas etapas da separação. Seu conteúdo segue o mesmo princípio em todos os passos do ciclo, apresentando ao usuário as etapas do processo de separação ainda não cumpridas.

O intuito neste caso é fornecer ao usuário subsídio para completar a sequência correta de etapas. Porém, a informação indicando a etapa correta a ser completada é deliberadamente substituída pela informação complementar, isto é, as etapas que necessitam ser completadas antes da etapa em questão. O objetivo é claramente propiciar uma reflexão sobre a sequência de etapas. Embora isto tenha sido frisado no tópico "Laboratório Virtual", neste tópico esta informação tem como respaldo os fenômenos microscópicos, o que atribui à sequência de etapas um sentido teórico mais aprofundado. Como os princípios físico-químicos baseiam-se em propriedades

moleculares (no caso, pI e suas implicações na carga líquida da molécula), a reflexão sobre as etapas neste tópico é um aspecto importante para que o usuário compreenda tais princípios. A caixa de mensagens é, portanto, um elemento importante para atingir os objetivos instrucionais da unidade Cromatografia de Troca Iônica, que respalda as informações apresentadas na representação gráfica dos fenômenos microscópicos.

Janela de Ajuda: a janela de ajuda tem, neste tópico, funções análogas àquelas desempenhadas no tópico "Laboratório Virtual". Neste caso, porém, a representação microscópica da separação da amostra modifica a inserção das informações apresentadas.

No tópico anterior, os valores de pI são apenas elementos que influenciam a ordem de separação. Neste tópico, uma vez associados aos fenômenos moleculares, os valores de pI são a explicação da ordem de eluição. Em outras palavras, a informação da janela de ajuda no tópico "Laboratório Virtual" visa fornecer subsídios para que o usuário formule para si uma pergunta, e no tópico "Modelo Microscópico" a mesma informação é um subsídio para que o usuário encontre uma resposta.

À exceção da janela de ajuda, todos os elementos acima modificam seu conteúdo de forma interativa. Todas as mudanças têm como fio condutor o andamento da separação da amostra, e como modulador os dados adquiridos nas escolhas do usuário. O mesmo fio condutor norteará a discussão que se segue sobre a articulação dos elementos descritos acima.

Escolha do Tipo de Coluna: esta etapa é a primeira aquisição de dados de escolha do usuário (vide Figura 2.3.2c). Neste tópico, os dados registrados das ações do usuário têm efeito cumulativo, influenciando todos os processos de direcionamento subsequentes à sua aquisição. Portanto, a aquisição de dados nesta etapa influenciará os eventos posteriores, o que caracteriza uma estrutura de aquisição e utilização de dados em paralelo e não meramente sequencial. Os dados registrados em cada etapa acrescem um conjunto global de dados, cujas combinações fornecem parâmetros para os eventos dos dois principais elementos do tópico: o painel de comandos e a representação gráfica dos fenômenos microscópicos. Isto implica que, ao escolher o tipo de coluna, o usuário inicia o topo de uma distribuição hierárquica de dados que estabelece indiretamente o conteúdo das legendas dos botões, as cargas representadas na coluna, a probabilidade de ligação entre a coluna e os componentes da amostra, o comportamento dos íons durante a eluição, a ligação seletiva à coluna, entre outros eventos.

Como estes eventos são as formas principais de expressão das informações contidas no software, a estrutura de aquisição e utilização de dados é uma forma eficiente de ajustar a informação apresentada às opções do usuário.

Montagem da Coluna: esta etapa não é parte fundamental do processo de separação da amostra, como é o caso das demais etapas. Articulada à mesma estrutura de aquisição de dados, é nesta etapa que ocorre a primeira apresentação de representações gráficas de modelos microscópicos. Do ponto de vista conceitual, esta etapa apresenta, através de representações visuais, a definição de uma coluna eletricamente carregada e dos termos catiônico e aniônico. Além disso, promove

associação das imagens com o conceito expresso em linguagem escrita, presente na janela de ajuda e na informação “coluna ..., pH ...”.

A importância destes conceitos na compreensão dos princípios envolvidos no processo de separação por cargas requer um intervalo de tempo de reflexão correspondente e apropriado. Supõe-se que tal intervalo seja obtido na medida em que uma ação do usuário é necessária para que obtenha a representação visual da coluna. Esta solicitação cria condições para que haja reflexão sobre a informação “coluna ..., pH ...”, através de uma relação simples de causa (tipo de coluna escolhido) e efeito (obtenção de uma representação gráfica da coluna). Caso o usuário opte em saltar esta etapa, o tratamento interativo desta ação através da caixa de mensagens o redirecionará para a sequência apropriada, de modo que a oportunidade para a reflexão será necessariamente contemplada.

Carregamento da Coluna: o objetivo desta etapa é concluir a apresentação dos conceitos referentes às características da amostra e sua interação com a coluna, iniciada nas etapas anteriores. Para tanto, esta etapa dispõe ao usuário os mesmos recursos das etapas anteriores, com as quais compõe uma sequência: “escolha de coluna”, “montagem de coluna” e “carregamento da amostra”. Esta etapa finaliza a associação entre as representações dos conceitos acima na suas formas escrita e visual, valendo-se dos seguintes detalhes nas animações:

- i – as cores das duas proteínas são as mesmas usadas no "Laboratório Virtual" e nas janelas de ajuda;
- ii – as formas das proteínas são diferentes para enfatizar a idéia de diferenças nas propriedades moleculares;

- iii – as proteínas ligam-se em regiões da coluna próximas a cargas elétricas, enfatizando que esta ligação depende essencialmente da carga, omitindo-se fatores secundários;
- iv- o movimento das moléculas é browniano (simulando condições de fluxo), representando os fenômenos difusionais na coluna. O movimento de rotação foi adicionado a cada partícula;
- v – Apenas parte dos sítios carregados nas esferas de gel é ocupada, revelando o aspecto probabilístico de ligação à coluna;
- vi – Somente as proteínas que colidem com sítios vagos se ligam à coluna, o que enfatiza o ponto de observação sobre uma secção da coluna, cabendo ao usuário supor que as proteínas que não se ligaram o farão em regiões mais adiante na coluna;
- vii – todos os processos estão vinculados a números aleatórios, para que a distribuição da amostra na coluna em cada utilização seja única, ressaltando o aspecto dinâmico do fenômeno de separação.

As animações são a principal fonte de informação no tópico, devendo ser, por um lado, precisas ao apresentar os conceitos e, por outro, seletivas ao representar os fenômenos. O excesso de detalhes gráficos ou a representação de todas as informações possíveis é danoso no sentido de desviar a atenção do usuário para fenômenos secundários em relação aos fenômenos de interesse. Para contemplar estas exigências e articular este conteúdo na ERI, foram desenvolvidos e empregados algoritmos específicos para a representação da dinâmica molecular do sistema (veja Anexo A, dos recursos computacionais).

Eluição: a eluição é a etapa conclusiva do tópico, no qual, do ponto de vista conceitual, o conceito central da técnica é apresentado, e do ponto de vista da interatividade, o conjunto de dados registrados ao longo das etapas é utilizado em sua plenitude.

Assim como no tópico "Laboratório Virtual", a etapa de eluição apresenta ao usuário duas formas de eluição. Tanto na sequência de eluição apropriada para a separação (KCl 0,5M => KCl 1,5M) quanto na inapropriada (KCl 1,5 M => KCl 0,5M), o usuário será informado através da animação sobre os fatores que determinam o desligamento dos componentes da amostra. Além da associação direta com os cromatogramas do tópico anterior, neste tópico as animações fornecem uma informação adicional: os íons presentes no eluente deslocam os componentes da amostra e ocupam seu lugar. No tópico anterior não há nenhuma representação gráfica com esta informação, já que a coluna adquire a mesma coloração inicial.

O deslocamento de uma partícula pela outra, presente na animação, é uma analogia ao deslocamento do equilíbrio de troca iônica decorrente do aumento da concentração de eletrólito:

A equação 2.3-1 é o conceito central na separação por troca iônica e não é apresentada formalmente no tópico, mas através da animação. Novamente, assim como na etapa de carregamento, recursos específicos são empregados para que a animação possa apresentar o conceito:

- i - a quantidade de íons negativos e positivos é proporcional à concentração do eluente escolhido;
- ii - os cátions e ânions do eluente apresentam comportamento diferenciado. Apenas os íons de carga oposta à carga da coluna apresentam colisão com outros objetos. Os íons de mesma carga se movimentam de forma independente por sobre os objetos, o que cria ilusão tridimensional e salienta o fato de que os íons com a mesma carga das proteínas são os responsáveis pelo seu deslocamento;
- iii - proteínas deslocadas podem se ligar novamente a sítios vagos, possibilitando um novo deslocamento até que desapareçam da tela, o que reforça o conceito de equilíbrio dinâmico pela representação dos dois sentidos do equilíbrio de troca iônica;
- iv - proteínas que não sofrem colisão com íons não são deslocadas, criando situações nas quais há proteínas ligadas após a eluição completa, o que enfatiza o conceito de deslocamento e o fator probabilístico dos processos dinâmicos, além de exemplificar situações reais em que resíduos das amostras permanecem nas colunas;
- v - os comandos de eluição do painel de comandos somente são ativados quando não há mais partículas em movimento na tela, o que implica na existência de um intervalo de tempo entre uma eluição e outra, até que a animação se complete. Este intervalo se destina à observação da situação da coluna após cada eluição, o que favorece a compreensão dos efeitos de cada eluição sobre a amostra.

Salienta-se novamente a importância da estrutura de dados e a influência da primeira aquisição “tipo de coluna”. Esta aquisição influencia diretamente:

- a) Cargas da coluna;
- b) Ordem de eluição das proteínas;
- c) Definição dos parâmetros de colisão e deslocamento dos íons e proteínas.

Como os eventos acima são a forma visual de representação dos conceitos envolvidos na separação por troca iônica, a estrutura de dados é, por assim dizer, o principal recurso de interatividade do tópico "Modelo Microscópico", modulando a apresentação dos conceitos às escolhas do usuário.

A etapa de eluição do tópico "Modelo Microscópico" finaliza a análise da amostra com um ponto de verificação, como no caso do tópico "Laboratório Virtual". O ponto de verificação, neste caso, deve ser extraído da análise conjunta dos seguintes subsídios:

- a) a mudança das legendas no painel de comandos, indicando que não há mais etapas a serem realizadas.
- b) a eluição simultânea das proteínas, ou a ausência de proteínas na coluna (incluída nesta categoria uma eventual molécula remanescente).
- c) a ausência de partículas em movimento.

Seguindo os princípios que norteiam este trabalho, cabe ao usuário estabelecer a verificação, podendo reiniciar o ciclo quantas vezes julgar necessário.

d) Aplicações: Determinação das Condições de Eluição

Objetivos do Tópico

- a) propor a aplicação dos princípios físico-químicos da técnica;
- b) elucidar a relação entre as condições de eluição e o resultado das análises;
- c) esclarecer, de forma simples, como podem ser determinadas as condições de eluição para uma amostra desconhecida.

Seleção de conteúdo para o tópico

Dentre os inúmeros protocolos experimentais envolvendo a técnica “Cromatografia de Troca Iônica”, foi escolhido um protocolo simples para determinação de condições de eluição como situação apropriada para a aplicação dos princípios físico-químicos da técnica. O protocolo virtual apresentado no software é uma simplificação do protocolo experimental original, cujos aspectos estritamente técnicos foram omitidos a fim de centralizar o conteúdo sobre as questões conceituais (Pharmacia Amersham, 1999; Roe, 1995).

O protocolo virtual foi escolhido segundo os critérios abaixo:

- i - relação direta com os princípios físico-químicos da técnica;
- ii- prioriza os conceitos solicitados nas seções "Princípios" e "Introdução".

Além de restringir o protocolo original, a seleção de conteúdo para o tópico inclui a previsão dos resultados da análise, visando relacioná-los às condições experimentais escolhidas.

Recursos de Interatividade para a Determinação das Condições de Eluição

Figura 2.3-7: ERI para o tópico "Determinação das Condições de Eluição"

B I B L I O T E C A
INSTITUTO DE QUÍMICA
Universidade de São Paulo

Considerações gerais sobre a estrutura de interatividade: a estrutura de interatividade deste tópico reúne elementos presentes nos tópicos "Modelo Microscópico" e "Laboratório Virtual". No "Laboratório Virtual", a estrutura de registro e utilização dos dados de ação do usuário é linear seqüencial, e no tópico "Modelo Microscópico", do tipo paralela. Neste tópico a estrutura de registro e utilização de dados é híbrida, tendo características do tipo paralela e do tipo linear seqüencial. O sistema paralelo vincula todas as etapas ao registro inicial “tipo de coluna”, e a estrutura linear seqüencial prevalece em cada etapa (escolha de pH e escolha de concentração de KCl). Outra questão geral é a concentração de informações. Cada protocolo virtual apresenta grande número de informações antes de propor ao usuário um questionamento (“Qual o tubo mais adequado?”), o que motivou a inserção de dois pontos de verificação na ERI: um após a escolha de pH, e o outro após a escolha das concentrações de eluição. Para organizar e controlar a apresentação das informações no tópico foram utilizados os elementos descritos a seguir.

Protocolo Virtual: o protocolo virtual é um elemento de navegação seqüencial cujo objetivo instrucional é descrever as etapas do protocolo de determinação de condições de eluição.

As funções do protocolo virtual na ERI são vincular a informação escrita com o seu correspondente visual na estante virtual de tubos e associar apresentação de informação as ações do usuário. Como estas informações precedem os questionamentos centrais do tópico (escolha de pH e da concentração de KCl), o

protocolo virtual é uma das principais fontes de subsídio para as reflexões propostas ao usuário.

A obtenção de informações através do protocolo virtual é seqüencial e deliberadamente tutorial. Para garantir correspondência direta com as informações mostradas na estante de tubos, os seguintes recursos foram utilizados:

- i – cada etapa do protocolo virtual é demarcada com uma barra de sinalização horizontal que, mediante ação do usuário (passar o ponteiro do mouse sobre a barra), salienta a etapa presente, as etapas cumpridas e as etapas por cumprir;
- ii – as etapas indicadas no protocolo podem ser acionadas somente após a conclusão do evento disparado na estante de tubos pela etapa anterior, o que evita que o usuário “pule” etapas, com conseqüente perda de informação;
- iii- a etapa de dosagem da amostra na resina e no sobrenadante é ressaltada em relação as demais, indicando o fim do protocolo;
- iv - a solicitação da escolha do tubo com as condições ideais é demarcada pela mensagem em cor contrastante e pela substituição do cursor do mouse por uma imagem gráfica própria. Esta intervenção drástica tem como objetivo destacar as informações apresentadas na estante de tubos no contexto da escolha que lhes é subjacente.

Estante Virtual de Tubos: apresenta os resultados das etapas descritas no protocolo virtual.

O processo culmina na informação mais relevante, a distribuição da amostra na resina e no sobrenadante em função da composição de cada tubo (pH ou concentração de KCl).

Embora apenas a informação final seja imprescindível para a escolha do tubo com condições adequadas, é importante mostrar a origem desta informação e, sobretudo, apresentá-la como o produto de um protocolo, razão que motivou a representação de todas as etapas do protocolo.

Para que a estante de tubos pudesse reunir as propriedades instrucionais acima, os seguintes recursos foram desenvolvidos:

- i - as representações gráficas dos instrumentos, embora esquemáticas, foram desenhadas mantendo relações estreitas de semelhança com as situações reais;
- ii - as modificações determinadas em cada etapa são aplicadas tubo a tubo, salientando o aspecto temporal e manual deste tipo de processo, executadas por um operador. Como as modificações são decorrentes das ações do usuário, a articulação da estante de tubos ao protocolo virtual favorece ao usuário identificar-se como este operador e agente dos eventos;
- iii - após a etapa de dosagem, a estante se converte num painel de comandos, onde cada tubo determina uma ação específica, o que possibilita utilizar o mesmo elemento para apresentar subsídio para a escolha e a escolha em si.

Painel de Condições de Análise: este elemento tem como objetivo principal apresentar as condições de eluição já determinadas. Utiliza os dados registrados nas escolhas do usuário e apresenta a informação mínima associada a estes. Do ponto de vista da interatividade, mantém o fio condutor e os objetivos do tópico constantemente visíveis no decorrer da execução do tópico.

Janela de Previsão de Resultados: este elemento compõe com o protocolo virtual e a estante de tubos os principais recursos de apresentação de conteúdo ao usuário. No entanto, há diferenças nas funções destes elementos na ERI, o que fica explícito na sequência em que são executados:

- 1) apresentação de conteúdo com o protocolo virtual e a estante de tubos;
- 2) questionamento tendo como subsídio o conteúdo representado pela estante de tubos após a dosagem;
- 3) reflexão sobre a escolha baseada no conteúdo apresentado nos cromatogramas da "janela de previsão".

A janela de previsão de resultados é o ponto de verificação da escolha proposta no questionamento e, por este motivo, ao apresentar informações complementares àquelas das etapas anteriores, propicia reflexão sobre a escolha, seus subsídios (estante de tubos) e as informações antecedentes (protocolo virtual). Portanto, a janela de previsão organiza os conceitos prévios disponíveis no tópico para a interpretação do conteúdo que apresenta (no caso, os cromatogramas). Para que a janela de previsão desempenhe esta função, os seguintes recursos foram empregados:

- i – representações gráficas dos cromatogramas, correspondentes à escolha de condições de usuário, nas quais perfis de eluição indicando as tendências mais prováveis são apresentados. O objetivo é propiciar uma reflexão qualitativa condizente com a natureza dos resultados obtidos pela execução do protocolo virtual, que são qualitativos;

- ii – janela de texto na qual os resultados apresentados no cromatograma são comentados. O texto é a forma escrita das informações apresentadas na representação gráfica do cromatograma, extrapolando, portanto, o âmbito de uma legenda;
- iii – janela de ajuda, com informações complementares básicas sobre as atividades desenvolvidas no tópico;
- iv – botão de regresso para a situação de escolha;
- v – botão “reiniciar”, caso o usuário julgue necessário retomar todas as informações apresentadas em um novo processo.

Uma vez descritos os principais elementos presentes no tópico, podemos discutir as etapas da ERI.

Abertura: assim com em outros tópicos, a tela de abertura apenas informa ao usuário os objetivos da atividade.

Escolha de coluna: a escolha da coluna é a primeira condição experimental a ser determinada. O principal recurso de interatividade é o registro do dado “tipo de coluna”, que determinará, através da estrutura híbrida de registro e utilização de dados (vide considerações gerais), parâmetros para as demais etapas.

Este dado é imediatamente apresentado no painel de comandos, informando ao usuário o andamento do processo de determinação de condições de eluição e a sua escolha.

Iniciar Protocolo pH e Protocolo pH: estas etapas e suas correspondentes na determinação da concentração de KCl, são exemplo de uma estrutura muito comum do tipo introdução/atividade, e possuem representações distintas na ERI apenas por motivos de clareza.

No caso da determinação do pH adequado para a eluição, a introdução cumpre apenas a função de direcionar a ação do usuário para a atividade principal, estabelecendo uma distinção entre a etapa anterior (escolha de coluna) e a atividade.

Na atividade, dois dos principais elementos de apresentação de informação deste tópico são ativados: a estante de tubos e o protocolo virtual. Estes elementos são executados subordinando as modificações representadas na estante de tubos às etapas do protocolo, através de recursos próprios de cada elemento: a barra que sinaliza a etapa em andamento no protocolo virtual, e os eventos “tubo a tubo” na estante de tubos.

O evento principal nesta tela é a escolha do tubo cujo pH é o mais adequado, precedido pela etapa de dosagem. A partir da etapa de dosagem, o conteúdo da informação apresentada na estante de tubos deixa de ser o andamento de um processo, tornando-se o dado principal para a resolução do problema colocado. Do ponto de vista conceitual, a etapa de dosagem do protocolo virtual revela ao usuário o significado das etapas anteriores: partes de um processo cuja finalidade se revela após a dosagem.

Em relação à interatividade, a etapa de dosagem no protocolo virtual apresenta como característica principal a reunião das seguintes funções num único elemento:

- 1) registro do dado “tubo escolhido”.

2) utilização do dado registrado no próprio elemento no direcionamento do usuário

3) direcionamento do usuário

- a) para a previsão de resultados, caso a escolha seja inadequada;
- b) para o próximo protocolo virtual da escolha da concentração de KCl, caso a escolha seja adequada.

O registro e utilização de um dado no mesmo elemento estabelecem uma estrutura “meta-referente” de dados de entrada do usuário. O único aspecto que diferencia este tipo estrutura interativa de uma ação simples é a criação do parâmetro de uma ação pela própria ação. Este é o recurso principal de interatividade deste tópico, sendo possível devido aos seguintes fatores:

- i - a estante de tubos reúne as funções de apresentar informação e disparar eventos;
- ii - o usuário efetivamente participou da construção da informação contida na estante de tubos ao acionar as etapas do protocolo virtual.

Como nos caso da escolha do tipo de coluna, a escolha do usuário nesta tela é imediatamente incluída no painel de condições de análise.

Iniciar Protocolo KCl e Protocolo KCl: são válidas aqui as mesmas considerações discutidas para a estrutura do tipo introdução/atividade da tela acima, à exceção da informação apresentada nesta tela, que credita a escolha de pH da tela anterior: Portanto, a tela Iniciar KCl tem a função de introdução ao protocolo de determinação de concentração de KCl, e a função de ponto de verificação para a

escolha da tela anterior. Os mesmos recursos para vincular as etapas do protocolo virtual à estante de tubos são utilizados nesta tela. Há, no entanto, uma diferença fundamental em relação à interatividade: não é utilizada uma estrutura meta-referente de registro e utilização de dados. Nesta tela, embora a estante de tubos também possua dupla função, os dados registrados na escolha do tubo não são utilizados como parâmetro para a ação a qual está vinculado seu registro. Tais dados serão utilizados na tela seguinte executar previsão de resultados. Os demais recursos de articulação das informações foram mantidos, devido à semelhança nos aspectos instrucionais das duas telas.

Executar Previsão do Resultado: esta tela é o principal ponto de verificação do tópico. Após ter executado dois protocolos virtuais e duas escolhas, nesta etapa serão determinadas as condições para que os objetivos instrucionais do tópico sejam atingidos. O tópico se vale de dois pontos de verificação, ambos através da janela de previsão, sendo um após cada protocolo.

Nos dois casos, a estrutura é organizada de tal forma que o usuário somente ultrapasse o ponto de verificação caso a opção mais adequada seja escolhida. Para que a escolha não seja baseada na exclusão de alternativas, a janela de previsão oferece como subsídio informações qualitativas contidas numa caixa de texto e nos cromatogramas. Em todos os casos, diante de uma escolha não adequada, as opções de navegação oferecidas na janela de verificação são escolher outro tubo ou reiniciar a atividade. Este tipo de estrutura assegura oportunidades de reflexão sobre as informações apresentadas.

A tela Executar Previsão do Resultado contém uma lista das escolhas efetuadas durante a execução dos protocolos. São as mesmas informações dispostas no painel condições de análise, porém, com finalidades distintas, já que a função do painel condições de análise é situar o usuário no andamento do tópico. A lista de escolhas apresentada nesta tela é uma revisão dos dados obtidos nos protocolos virtuais, visando facilitar sua associação com as informações a serem mostradas na janela de previsão.

O botão executar direciona o usuário para a janela de previsão, tomando como parâmetro o dado “escolha de tubos”. As diferenças no direcionamento mostradas na ERI não significam a existência de duas janelas de previsão. A aparente bifurcação sinaliza apenas a modificação do conteúdo apresentado na janela de previsão. Este é mais um exemplo dos princípios básicos de interatividade, no qual a informação fornecida ao usuário depende de suas ações prévias.

Em relação ao conteúdo da janela de previsão, nota-se que, tanto no caso de uma escolha adequada, quanto no caso de uma escolha inadequada das concentrações de eluição de KCl, a natureza dos conteúdos apresentados é a mesma, isto é, um cromatograma e sua interpretação. No entanto, há uma diferença na estrutura de interatividade usada, já que as escolhas inadequadas retornam o usuário ao questionamento, e as adequadas finalizam o tópico.

A ERI e a organização dos conteúdos disponíveis neste tópico propiciam oportunidades para que o usuário reflita sobre a relação entre os cromatogramas apresentados e o aspecto da estante de tubos após a execução dos protocolos.

e) Aplicações: Eluição com Gradiente Contínuo

Objetivos do Tópico: os objetivos do tópico são os seguintes:

- a) abordar uma das formas de eluição da técnica;
- b) definir e ilustrar um gradiente contínuo;
- c) propor uma situação na qual os princípios físico-químicos da técnica sejam aplicados em nível avançado, através da simulação de resultados.

Seleção de Conteúdo para a Eluição com Gradiente Contínuo

A escolha do conteúdo eluição com gradiente contínuo foi motivada pela importância e frequência com que este tipo de eluição é utilizado, sobretudo em práticas analíticas. Além disso, com o tratamento exaustivo dado ao caso da eluição em patamares na seção Princípios, é possível abordar a eluição com gradiente na seção Aplicações, compondo um conteúdo mais completo para o tópico.

Assim como na escolha da eluição em etapas para a seção Princípios, nesta parte do presente tópico também priorizamos o conceito central (definição de gradiente), evitando a inserção de conceitos adjacentes desnecessários. Por este motivo incluímos apenas a produção de gradientes através de vasos comunicantes, excluindo do conteúdo a produção de gradientes com bombas peristálticas, o que implicaria na necessidade de informar seu funcionamento.

Para que os conceitos físico-químicos da técnica pudessem ser efetivamente aplicados no caso da eluição com gradiente, o conteúdo central foi embutido num simulador de cromatogramas, cujas possibilidades extrapolam os limites das formas convencionais de apresentação de conteúdo. Tais restrições visam facilitar a

compreensão dos fenômenos representados. Apesar das restrições, um grande número de processos pode ser simulado (anexo A).

Recursos de Interatividade para a Eluição com Gradiente Contínuo

Figura 2.3-8: ERI do tópico "Eluição com Gradiente Contínuo"

Considerações Gerais sobre a ERI do tópico Eluição com Gradiente Contínuo:

a ERI deste tópico é substancialmente mais simples do que as demais apresentadas até aqui. Isto não significa que há menor grau de interatividade, mas que a interatividade depende mais de características dos elementos isolados do que da sua articulação. Nos demais tópicos discutidos a interatividade foi implementada segundo a estrutura do tipo informação/questionamento/subsídio e conclusão. Esta

estrutura depende de um sistema de registro de dados, discutido em cada caso particular.

Neste tópico os elementos apenas seguem uma sequência simples de apresentações com possibilidade de navegação vinculada à tela de abertura, por onde o usuário deve transitar ao acessar as informações disponíveis no tópico. O tópico é organizado em duas partes:

- a) preparação de um gradiente, visando definir e ilustrar um gradiente contínuo.
- b) simulador

A única correlação entre as duas partes é decorrente do pressuposto que é necessário definir um gradiente de concentração para que se solicite sua utilização no simulador. A aparente relação de subordinação fica a encargo do usuário, que pode executar as duas partes de forma independente. “Preparação de um Gradiente” foi introduzida no tópico com a finalidade de evitar rigidez na estrutura de conteúdos, mantendo um dos princípios que norteia a produção do software: a flexibilidade de acesso ao conteúdo da biblioteca de técnicas.

Tela de Abertura: neste tópico a tela de abertura desempenha função ligeiramente mais complexa que nos demais. A natureza do conteúdo da tela de abertura é essencialmente a mesma, cabendo-lhe a função de informar o usuário sobre as atividades propostas. No tocante à interatividade, a tela de abertura é apenas o elo de navegação entre as duas partes do tópico, e não um elemento de articulação de conteúdos.

Preparação de um Gradiente contínuo: esta parte do tópico é um tutorial típico, empregado com a finalidade única de apresentar informações. O objetivo desta parte do tópico é bastante delineado e explícito: definir o que é um gradiente de concentração e sua aplicação como eluente. Para tanto foram utilizados os dois elementos mais comuns para apresentação de conteúdos: caixas de texto e animações pouco interativas. Embora simples, os elementos acima são convenientes para os objetivos estabelecidos.

Em “Preparação de um Gradiente Contínuo” as intervenções do usuário são limitadas à navegação simples, através de comandos do tipo “próximo/prévio” e “iniciar animação”.

Nas animações foram utilizadas representações esquemáticas dos fenômenos, visando facilitar a compreensão mínima do procedimento experimental real. Novamente, na produção das animações há o compromisso entre a clareza e os detalhes, para que a animação reflita a ordem de prioridade das informações apresentadas.

Considerações gerais sobre a simulação de eluição com gradiente contínuo: este elemento do tópico difere quanto aos demais elementos apresentados nos outros tópicos, já que reúne em si os recursos para as reflexões conceituais. O simulador envolve dois conceitos principais:

- 1) a relação entre a carga elétrica de uma proteína e o pH do meio, um conceito ligado à Bioquímica e não à técnica.
- 2) a separação dos componentes da coluna em função da concentração de íons no eluente, um conceito ligada à técnica, e não à Bioquímica.

Assim como no caso dos demais tópicos, também na simulação é possível utilizar a interatividade para propiciar a reflexão necessária ao aprendizado de conceitos complexos. Porém, as funções de apresentação de informações, questionamentos e fornecimento de subsídios encontram-se sobrepostas em alguns elementos da tela de simulação e, muitas vezes, no ato de utilizá-los. No simulador, portanto, os recursos de interatividade podem assumir uma dimensão abstrata, não vinculada a um elemento específico da tela.

Dada a grande abrangência das possibilidades de simulação, alguns limites conceituais foram assumidos para restringir o número de possibilidades. Como este software não é uma ferramenta computacional de pesquisa, não é necessário simular rigorosamente as condições reais de uma separação. Em função destas prerrogativas as seguintes restrições foram aplicadas:

- i – fatores técnicos como, dimensões da coluna, fluxo de eluição, porosidade da resina, densidade de carga na resina, volume de coleta, entre outros, não foram considerados;
- ii – não é possível ao usuário modificar a composição da amostra, isto é, serão sempre as mesmas proteínas, nas mesmas quantidades, com os mesmos valores de pI;
- iii – os processos são simulados para uma coluna aniônica apenas;
- iv – é aplicado um gradiente de KCl, em pH de eluição constante, e não um gradiente de pH;
- v – apenas gradientes lineares, contínuos e ascendentes são simulados;
- vi – não se coloca a questão da temperatura e nenhuma de suas implicações técnicas e termodinâmicas.

O simulador conta com quatro elementos de tela articulados:

- 1) painel condições de eluição
- 2) cromatograma
- 3) seleção de experimentos
- 4) caixa de mensagens

Antes de iniciar a discussão sobre a articulação dos elementos, convém esclarecer os recursos de cada um deles.

Painel condições de eluição: através deste elemento o usuário fornece os parâmetros para a simulação da análise. Três parâmetros devem ser estabelecidos: pH de eluição, e as concentrações inicial e final de KCl. O botão “executar” é o elemento interativo no painel. O acionamento do botão “executar” dispara os seguintes eventos:

- i- verificação da validade dos parâmetros escolhidos: apenas gradientes ascendentes são aceitos, ou seja, $[KCl_i] < [KCl_f]$. Caso esta condição não seja satisfeita, o usuário será informado na caixa de mensagens;
- ii- início da construção do cromatograma e da curva de eluição;
- iii- inserção de nova linha da seleção de experiências.

Cromatograma: o cromatograma é o elemento onde o usuário obtém o resultado da simulação, em função dos parâmetros estabelecidos. No cromatograma é possível observar até cinco simulações simultaneamente.

A exibição das simulações é centralizada no elemento seleção de experiências.

As funções interativas do cromatograma dependem essencialmente da sequência de simulações realizadas. Neste sentido, a interatividade do cromatograma não se resume em dispor informações diferenciadas em função das escolhas prévias do usuário. A intenção do usuário ao realizar uma série de simulações também determina o papel interativo do cromatograma.

Tomemos como exemplo o seguinte caso: o usuário realiza uma simulação e obtém um determinado resultado. Em seguida, a partir deste resultado, faz pequenas variações no gradiente, a fim de obter melhor separação de picos, por exemplo. Neste caso, o elemento cromatograma atua como fonte de informação ao dispor a primeira simulação. Atua também como questionamento, já que o usuário reflete sobre a possibilidade de melhorar a resolução dos picos. Em seguida, atua como subsídio ao apresentar a segunda simulação, já que o usuário partiria dela para refletir se as modificações no gradiente resultaram no efeito desejado. Se a intenção do usuário ao realizar a segunda simulação fosse diferente, o elemento cromatograma poderia ter outras funções interativas, dependendo da intenção do usuário.

No caso de outros elementos apresentados nos tópicos anteriores, a forma de apresentação de conteúdos é pré-estabelecida, de modo que as intervenções do usuário provocam eventos dependentes de parâmetros determinados pela estrutura de interatividade, que, por sua vez, dependem das nossas intenções em relação ao

aprendizado do usuário. Esta é uma questão central na utilização da simulação, e terá especial atenção mais adiante.

A simulação de cromatogramas conta com os seguintes recursos:

- a) as proteínas A,B, C e D são identificadas por legendas em a cada pico;
- b) o cromatograma é simulado pela fusão de picos, e não pela sobreposição;
- c) as variações próprias a resultados experimentais são simuladas, isto é, os mesmos parâmetros resultam em cromatogramas discretamente diferentes.

Seleção de Experiências: controla a exibição das simulações apresentadas no elemento cromatograma.

As barras de seleção mostram dados referentes às simulações e atributos de exibição e eliminação. Seus elementos são descritos a seguir:

- a) série: identifica a simulação através de um código de cores que diferencia as inúmeras possibilidades de simulação. O código vincula o matiz da cor ao pH de eluição, e a saturação ao gradiente de KCl.
- b) pH e concentração de KCl final e inicial: são os parâmetros da simulação.
- c) opções: atributos de visualização que possibilitam exibir, esconder, ou excluir simulações da lista de simulações. As figuras abaixo apresentam estes símbolos:

simulação visível: o acionamento torna a simulação invisível;

simulação invisível: o acionamento torna a simulação visível.

A seleção de experiências comporta até cinco simulações. A partir daí a sobreposição de experimentos torna-se confusa. Para inserir novas simulações o usuário deve excluir simulações da seleção. As simulações mais recentes são adicionadas no topo da lista. Acima de cinco simulações uma mensagem é emitida na caixa de mensagens, informando o usuário da necessidade de excluir ao menos uma simulação. A principal função interativa da seleção de experimentos é operacionalizar as simulações no elemento cromatograma, possibilitando a comparação de informações através da sobreposição seletiva de simulações.

Caixa de Mensagens: este elemento tem a função de apresentar ao usuário informações essenciais para o aproveitamento do simulador. As mensagens mostradas podem ser divididas em duas categorias quanto aos objetivos:

- a) mensagens de ajuda, contendo informações sobre a amostra e o simulador.
- b) mensagens de controle de utilização, indicando parâmetros impróprios no painel de condições de eluição, como, por exemplo:

“Atenção: Para que haja separação, o gradiente deve ser ascendente, isto é, a concentração final de KCl deve ser maior do que a concentração inicial de KCl. Mude as concentrações e tente executar novamente.”

As mensagens de controle de utilização têm a função de apresentar conceitos, e se valem do momento em que são mostradas para destacá-los, já que o usuário necessita lê-las para continuar a simulação.

Simulação de eluição com gradiente contínuo: integração dos elementos de tela

A integração dos elementos acima faz do simulador um recurso instrucional com múltiplas possibilidades de utilização. As possibilidades de variação originam cerca de 60.000 simulações.

Naturalmente, a eficiência instrucional do simulador depende do direcionamento dado a sua utilização. No caso dos outros tópicos há uma seqüência previamente estabelecida que direciona sua utilização. Neste simulador é necessário que esta seqüência seja proposta de antemão, pelo coordenador da atividade instrucional na qual o tópico seja utilizado.

2.3.3 Cromatografia de Afinidade

Considerações gerais para o tópico "Cromatografia de Afinidade"

Em relação as demais unidades de conteúdo discutidas, a unidade “Cromatografia de Afinidade” condensa a seção “Princípios” em apenas um único tópico. Esta simplificação fundamenta-se nos motivos conceituais expostos a seguir.

Em relação à natureza das interações entre a proteína de interesse e a fase estacionária, a cromatografia de afinidade é uma técnica mais simples de ser compreendida do que a cromatografia de troca iônica, que requer o conceito prévio de ponto isoelétrico. Uma vez que não é necessário explicitar as características conformacionais moleculares que estabilizam a interação entre a proteína de interesse e os ligantes imobilizados na fase estacionária, a compreensão do princípio físico-químico fundamental em que se baseia a cromatografia de afinidade pode ser simplificada a um equilíbrio de dissociação baseado no “encaixe” específico entre

moléculas de “formatos” complementares, como está apresentado na equação abaixo (Braithwaite & Smith, 1996; Angal & Dean, 1995; Pharmacia-Biotech, 1999; Mohr & Pommerening, 1986):

O equilíbrio representado na eq. 2.3-2 segue o mesmo princípio de equilíbrios simples de associação/dissociação, uma forma de representação de processos dinâmicos familiar ao alunado, uma vez que este tipo de equilíbrio é parte integrante dos currículos da disciplina de Química no Ensino Médio.

Apesar da simplificação conceitual acima, tal qual a cromatografia de troca iônica, a cromatografia de afinidade possui um procedimento com três etapas fundamentais:

- 1) ligação da amostra à coluna;
- 2) eluição preferencial dos componentes não desejados;
- 3) eluição do componente desejado.

Por este motivo, numa escala de complexidade referenciada em função dos objetivos do software, a cromatografia de afinidade situa-se, numa posição intermediária entre a cromatografia de permeação em gel (menos complexa) e a cromatografia de troca iônica (mais complexa), de tal forma que as questões conceituais principais na unidade de conteúdo “Cromatografia de Afinidade” são a compreensão do equilíbrio de dissociação/associação mencionado e sua vinculação às três etapas alistadas acima. A compreensão do princípio físico-químico desta técnica depende, portanto, do estabelecimento de uma estrutura de conteúdos que favoreça esta vinculação.

Por este motivo, a seção “Princípios” desta unidade de conteúdo foi organizada de forma a reunir, na mesma tela, as representações macroscópica e microscópica do processo de separação cromatográfico por afinidade, organizadas segundo as etapas principais de um procedimento genérico de separação.

Os recursos computacionais e a estrutura de interatividade usados no desenvolvimento de conteúdo digital que atendesse as considerações conceituais acima estão apresentados a seguir.

a) Introdução

Objetivos: o tópico visa fornecer informações básicas para que o usuário possa iniciar o estudo de uma técnica cromatográfica. Foi mantido o princípio de repetir a mesma animação usada nas demais unidades de conteúdo discutidas previamente.

b) Princípios

Objetivos: o tópico visa facilitar o aprendizado em nível de Compreensão dos princípios físico-químicos da técnica. O tópico agrupa as representações macroscópica e microscópica do fenômeno de separação.

Seleção de Conteúdo para a seção “Princípios”

O conteúdo escolhido para o tópico “Princípios” foi a separação de uma amostra hipotética contendo diversos tipos de proteína, sendo que apenas uma delas possui afinidade pelo ligante. As etapas fundamentais do procedimento de separação

são descritas, tendo sido incluída a imobilização do ligante à coluna. Nas demais técnicas cromatográficas abordadas a preparação da fase estacionária fora omitida, dado que, em geral, esta omissão não prejudica o aprendizado dos seus princípios físico-químicos. Este não é o caso da cromatografia de afinidade, onde é necessário frisar ao usuário que a separação advém da especificidade da interação entre ligante e proteína de interesse, que deve prevalecer sobre quaisquer outras interações entre os componentes da amostra e a fase estacionária.

Em relação ao tipo de eluição, optou-se em apresentar a eluição por competição pelo ligante ao invés da eluição por variação de pH ou força iônica. Duas razões principais motivaram esta opção. Em primeiro lugar, prevenir confusões por parte do usuário com relação à cromatografia de troca iônica, uma vez que a eluição por variação de pH ou força iônica poderia levar ao falso entendimento de que a propriedade explorada para separação dos componentes da amostra fosse a diferença de carga líquida nas moléculas. Ainda que, rigorosamente as interações moleculares que conferem especificidade à interação da proteína de interesse com o ligante imobilizado na fase estacionária envolvam também interações pontuais de cargas em regiões específicas das moléculas envolvidas, não é a diferença de carga que leva ao fenômeno de separação. Adicionalmente, a compreensão da contribuição de todas as interações intra e intermoleculares envolvidas no estabelecimento da afinidade específica ligante/proteína está muito além dos objetivos do software. Em segundo lugar, frisar novamente o conceito de que na cromatografia de afinidade são características particulares da estrutura molecular que definem a especificidade, seja na formação do complexo molecular ligante/proteína, seja na sua desestabilização.

Recursos de Interatividade para a seção “Princípios”

Figura 2.3-8: ERI para a seção "Princípios"

A seção é estruturada em duas partes distintas: a separação cromatográfica e a análise dos resultados obtidos. As funções e tipos de conteúdos próprios de tópicos como “laboratório virtual” e “modelo microscópico” das demais unidades de conteúdo encontram-se distribuídos nas duas etapas da seção “Princípios” da presente unidade de conteúdo, da seguinte forma:

- i- a sequência de eventos fundamentais genéricos de uma separação por afinidade está apresentada juntamente com a sua representação microscópica, na mesma tela, na etapa referente à separação cromatográfica;
- ii- o resultado obtido na separação, representado através de um cromatograma, é mostrado na etapa referente à análise dos resultados.

Os principais recursos de interatividade que compõem a interface de cada uma das duas etapas principais do tópico, bem com suas funções instrucionais, serão descritos a seguir.

Separação Cromatográfica: na etapa referente à separação cromatográfica, três elementos principais foram articulados: o “protocolo”, a tela de eventos microscópicos e a coluna cromatográfica.

O protocolo é um quadro de comandos com as funções instrucionais de articular as representações dos eventos microscópicos e macroscópicos, e de informar e orientar o usuário durante a etapa de separação. Este elemento serve ainda como interface de registro de ações do usuário, possibilitando direcionar suas ações nas etapas seguintes.

Estas funções fazem do protocolo o elemento central na estrutura de navegação e apresentação de informação da etapa de separação cromatográfica, controlando o fluxo de informação disponível ao usuário na forma das animações presentes nos demais elementos.

Tela de eventos microscópicos: principal fonte de informação na etapa de separação cromatográfica, presta-se, sobretudo a esclarecer o princípio físico-químico da técnica. Por este motivo, recebe destaque em relação aos demais elementos.

O poder instrucional deste elemento está intimamente relacionado às etapas descritas no “protocolo”, na medida em que a informação é apresentada mediante uma ação do usuário. Sempre que uma animação na tela é disparada a partir do “protocolo”, o usuário confronta-se com a necessidade de identificá-la, associando o evento microscópico apresentado ao andamento da separação. Como o andamento da separação está diretamente relacionado às interações estabelecidas entre proteína de interesse e os ligantes, o funcionamento conjunto da tela de eventos microscópicos e do protocolo possibilita uma reflexão sobre os princípios que regem a separação, o que é enfatizado pelo seu vínculo com o elemento coluna.

Coluna: a coluna associa os conteúdos da “Introdução” do tópico “Princípios”, conferindo uma dimensão concreta ao processo separação. Tendo seus eventos controlados pelo “protocolo”, a informação apresentada no elemento coluna está sincronizada àquela apresentada na tela de eventos microscópicos, sendo complementar a esta.

A complementaridade é fundamental para que o usuário perceba que ambos os elementos tratam do mesmo fenômeno: a separação cromatográfica. Neste caso, além do conteúdo apresentado na coluna ser controlado pelo “protocolo”, é importante ressaltar a preocupação em indicar que há mudanças de composição na coluna ao longo da separação. Na tela de eventos microscópicos, tal mudança é indicada diretamente pelo tipo e número de partículas mostradas. Já na coluna isto é indicado pela mudança de sua coloração. A mudança de composição é a forma qualitativa de descrever e informar, através de recursos visuais, os equilíbrios de formação/dissociação do complexo molecular ligante/proteína, sendo, portanto, fundamental para a compreensão do princípio físico-químico da técnica.

Análise dos Resultados: os objetivos da etapa referente à análise dos resultados são propiciar a reflexão sobre o conteúdo apresentado na etapa da separação cromatográfica e relacionar as representações microscópicas e macroscópicas dos eventos da separação cromatográfica com o cromatograma, salientando-se a forma como o cromatograma reflete os processos de formação e a desestabilização do complexo proteína/ligante. A estratégia adotada para a consecução destes objetivos é propor duas questões que devem ser respondidas tendo como fonte de informação um cromatograma com diferentes possibilidades de visualização: dosagem de proteína total e atividade. A estrutura de interatividade desta etapa conta com os elementos descritos a seguir.

Painel de opções de visualização: o painel de opções de visualização permite ao

usuário selecionar o tipo de informação apresentada. Para tanto, contém comandos de visualização do cromatograma e também de chamada para a tela de ajuda “saiba mais”, elemento descrito mais adiante. Este elemento exige do usuário uma postura ativa para obter informação, o que aumenta a interatividade e, portanto, o poder instrucional do software.

Cromatograma: o cromatograma é a principal fonte de informação desta etapa, tendo a função de transpor os conceitos apresentados na etapa de separação cromatográfica para a linguagem formal (científica).

Quadro de questões: o quadro de questões atua como guia para as reflexões sobre a informação apresentada no cromatograma.

Estante de tubos: a estante de tubos é o elemento de entrada de dados da escolha do usuário frente ao problema apresentado no quadro de questões.

Juntamente com o painel de opções de visualização, a estante de tubos é um dos elementos que compõem a interatividade desta etapa. Como todos os tubos são incolores, a escolha de um deles solicita ao usuário selecionar o tipo de informação apresentada no cromatograma (através do painel de opções de visualização) e em seguida interpretá-la, para que, a partir do ponto correspondente no cromatograma, seja indicado o tubo que melhor responda à questão proposta no quadro de questões.

Janela de comentários: a janela de comentários é o elemento que finaliza cada processo de interatividade iniciado, pois é a principal resposta às ações prévias do usuário na etapa de análise dos resultados. Dependendo da questão do painel de questões e da escolha do tubo, uma determinada informação é mostrada ao usuário.

As informações são comentários sobre a escolha do usuário (escolha do tubo), em linguagem escrita. Do ponto de vista da linguagem, a apresentação de informações na forma de texto concluem uma sequência de formalização da linguagem e dos conceitos, composta das seguintes etapas:

- 1) representações dos fenômenos microscópicos e macroscópicos através de animações;
- 2) interpretação da informação na forma de gráfico no cromatograma; 3) apresentação dos conceitos em linguagem texto.

Em relação ao papel instrucional, este elemento atua como ponto de verificação da opção do usuário (tubo escolhido). É importante ressaltar que o elemento fornece

ao usuário um parâmetro de adequação de sua capacidade de selecionar informação adequada para um problema específico, uma vez que a escolha do tubo depende do tipo de dado visualizado no cromatograma (dosagem ou atividade), que orientou o usuário na escolha do tubo. Assim, em função do comentário apresentado, o usuário tem a oportunidade de refletir sobre o tubo escolhido e sobre a necessidade de atentar a outro tipo de informação no cromatograma.

Janela de ajuda: a janela de ajuda visa fornecer informações necessárias à resolução das questões propostas no painel de questões.

c) Seção Aplicações

Seleção de conteúdo para a seção "Aplicações"

Dentre os inúmeros exemplos de aplicação da técnica, a concentração de uma amostra de proteína e a purificação de mRNA foram escolhidos por não serem meros exemplos contextualizados. Tais aplicações solicitam o princípio físico-químico da cromatografia de afinidade verdadeiramente em nível cognitivo de Aplicação, isto é, o solicitam numa situação nova, diferente da situação anterior. No entanto, devido à relativa simplicidade do princípio físico-químico da cromatografia de afinidade, optou-se por adotar estruturas lineares de navegação, cujo objetivo principal é informar o usuário sobre o conteúdo específico de cada aplicação. Trata-se, portanto, de tópicos substancialmente mais simples do que, por exemplo, “Determinação de Massa Molar” na unidade de conteúdo “Cromatografia de Permeação em Gel”, ou “Eluição com Gradiente Contínuo”, na unidade “Cromatografia de Troca Iônica”.

Esta simplicidade advém do fato de que não se considera necessário adotar estruturas de interatividade complexas para que o princípio físico-químico da técnica seja compreendido. De fato, a aplicação do princípio físico-químico da técnica na seção “Aplicações” desta unidade de conteúdo não exerce papel tão crucial na compreensão do conceito quanto nas demais unidades. Por este motivo, a estrutura de interatividade dos dois tópicos componentes da seção “Aplicações” desta unidade é linear, e os elementos que a compõem são bastante simples se comparados àqueles mais complexos (como simuladores de curvas de eluição, por exemplo), necessários nas unidades de conteúdo mencionadas acima.

d) Aplicações: “Concentração de uma amostra de proteína”

Objetivos do Tópico

Este tópico visa apresentar uma aplicação não separativa da técnica.

Recursos de Interatividade para o tópico “Concentração de uma amostra de proteína”

A ERI para o tópico está representada a seguir:

Figura 2.3-9: ERI para o tópico "Concentração de uma amostra de proteína"

Trata-se de uma estrutura linear com apresentação sequencial de conteúdo, desenvolvida para a descrição das etapas principais de um procedimento genérico de concentração de uma amostra de proteína, explorando sua afinidade pela fase estacionária.

O conteúdo é apresentado através de animações e textos, integrados de tal forma que sua sucessão seja dinâmica, isto é, o texto é apresentado antes da animação correspondente que, ao ser concluída, ativa a mudança para o próximo texto, e assim por diante.

Como é comum na navegação linear, o usuário tem controle apenas sobre o fluxo da informação apresentada.

e) Aplicações: “Purificação de mRNA”

Objetivos do Tópico

O objetivo do tópico é apresentar uma aplicação comum da técnica na purificação de compostos diferentes das proteínas, no caso, o mRNA.

Seleção de Conteúdo para o tópico “Purificação de mRNA”

A escolha do tópico “Purificação de mRNA” foi motivada por três razões principais:

- 1) trata-se de exemplo de purificação de outra classe de compostos biologicamente relevantes diferentes das proteínas;
- 2) o mRNA é eluído pela diminuição da força iônica, e não por eluição competitiva, como apresentado na seção “Princípios”;
- 3) esta é a técnica mais utilizada para purificação de mRNA.

À exceção dos demais tópicos constantes da unidade de conteúdo “Cromatografia de Permeação em Gel”, o tópico “Purificação de mRNA” trata também das interações intermoleculares responsáveis pela especificidade ligante/mRNA. Naturalmente, tais interações são tratadas em nível de profundidade suficiente para que o usuário possa compreender o tópico.

Recursos de Interatividade para o tópico “Purificação de mRNA”

Figura 2.3-10: ERI para o tópico "Purificação de mRNA"

A estrutura de interatividade do tópico utiliza duas sequências lineares de conteúdo, que podem ser utilizadas em paralelo. Tal estrutura é ligeiramente mais complexa do que o tópico “Concentração de uma amostra de proteína”, uma vez que é necessário apresentar conteúdo extra.

Levando-se em conta que tal conteúdo refere-se à natureza da interação ligante/mRNA, o poder instrucional do tópico “Purificação de mRNA” se baseia na possibilidade de apresentar uma aplicação do princípio físico-químico da cromatografia de afinidade no contexto de um caso particular de interação entre a substância de interesse e o ligante.

Capítulo 3

Avaliação dos softwares desenvolvidos

3.1 Objetivos gerais da avaliação

Retomando a Introdução desta tese, é importante distinguir o produto deste trabalho de sua natureza investigativa. Os produtos do trabalho são os três softwares desenvolvidos no período de sua consecução, e não estariam relacionados com a natureza investigativa deste trabalho caso não fossem fruto da mesma. Por este motivo são ditos "desenvolvidos" e não "produzidos".

O que confere o caráter investigativo ao trabalho é justamente o fato dos softwares terem sido avaliados no decorrer de sua produção, assumindo a avaliação o mesmo papel do experimento num trabalho científico das ciências naturais.

O objetivo da avaliação dos softwares é verificar se os pressupostos adotados no desenvolvimento dos softwares são efetivos, levando-se em conta suas finalidades. Dada a especificidade da sua condição de materiais instrucionais, (ferramentas para o ensino de Bioquímica), considera-se a eficiência dos softwares como materiais instrucionais o parâmetro para verificar a incorporação das concepções que nortearam seu desenvolvimento. Assim, o que é avaliado é o

desempenho do software numa dada circunstância de ensino, para que se possa averiguar quais dos pressupostos adotados na sua produção são efetivos.

Embora os softwares desenvolvidos tenham sido organizados em unidades de conteúdo com diferentes possibilidades de utilização, a proposta recomendada é a utilização em conjunto das diferentes unidades de conteúdo. As avaliações apresentadas neste capítulo são parte de um processo de avaliação global dos softwares desenvolvidos. Este processo é organizado em etapas segundo níveis de abrangência na utilização dos softwares, a saber:

- 1) avaliação da seção "Princípios"
- 2) avaliação integrada das seções "Princípios" e "Aplicações" de um software
- 3) avaliação integrada de dois softwares

Os três níveis de abrangência têm correspondência direta com a estrutura de organização de uma "Biblioteca de técnicas", tal qual definida no capítulo 2.

3.2 Avaliação do software em contexto

Sendo ferramentas para o ensino de Bioquímica, os softwares desenvolvidos somente podem ser avaliados num dado contexto de aplicação. Tanto do ponto de vista do produto da investigação quanto da investigação em si, dada a natureza deste trabalho, os resultados provenientes da avaliação e suas conclusões adquirem algum sentido somente se vinculados ao contexto em que os softwares foram avaliados. Por pressuposto, é impossível avaliar isoladamente o software, sendo os resultados da avaliação também determinados pelo contexto em que o software fora avaliado. Em princípio, esta constatação pode soar como um entrave à avaliação do software,

ingenuamente esvaziando-a de sentido e incluindo-a como acessório da avaliação do contexto. Porém, é igualmente ingênua e vazia de sentido a avaliação isolada do contexto, se esta for desvinculada da utilização do software. A avaliação do software em contexto, não só é válida para avaliá-lo, como é a única forma de se obter dados relevantes, tanto para que sejam contemplados os objetivos investigativos, quanto para que sejam frutíferos seus produtos. Portanto, qualquer referência ou menção à avaliação do software não faz qualquer sentido se dissociada do contexto em que foi realizada.

3.2.1 O contexto de avaliação

É premente definir o que se entende por "contexto de avaliação do software". O contexto de avaliação do software de ensino é simplesmente o conjunto de condições sob as quais fora avaliado, no qual se incluem: o alunado e suas características, a modalidade didática (aula expositiva, discussão em grupos), a natureza da atividade proposta ao alunado (problemas, explanação, discussão), a instituição de ensino, bem como as condições técnicas (número de microcomputadores por aluno, por exemplo).

A combinação das condições mencionadas acima e das possibilidades de articulação dos softwares desenvolvidos leva a um grande número de contextos de avaliação possíveis. Por este motivo, a avaliação dos softwares desenvolvidos foi realizada no contexto que define a forma de utilização que o autor desta tese considera a mais adequada para o usufruto das potencialidades dos softwares desenvolvidos, a saber:

Modalidade: aulas de discussão em duplas ou trios, em que cada dupla ou trio de alunos dispõe de um microcomputador para executar os softwares.

Atividade: os alunos devem acessar o conteúdo dos softwares orientados por problemas versando sobre os métodos cromatográficos.

Organização dos softwares: os softwares foram organizados como unidades de conteúdo de uma "Biblioteca de técnicas", tal qual descrito no capítulo 2 desta tese.

Estas são as características gerais do contexto em que foram realizadas as avaliações dos softwares, das quais se extraiu os dados principais apresentados neste trabalho. É importante esclarecer que a avaliação dos softwares foi realizada como parte do programa de disciplinas de graduação. Esta opção fundamenta-se no princípio de aproximar o contexto de avaliação às situações reais, inseridas no cotidiano do corpo docente e discente. Foi tomado o cuidado de introduzir a avaliação em momento oportuno do andamento dos cursos, ou seja, a utilização dos softwares foi incluída efetivamente na carga horária curricular das disciplinas nas quais se inseriu. As informações referentes às disciplinas e às turmas constam das seções nas quais são apresentados e discutidos os dados da avaliação.

A avaliação dos softwares, tal qual definida, contempla os objetivos investigativos do trabalho e seu reflexo no desenvolvimento dos softwares.

Além do contexto de avaliação, os softwares foram executados em outro contexto, com outros objetivos. Assim, de maneira mais informal, fora do contexto de avaliação, o software foi utilizado por docentes do departamento de Bioquímica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP), e por docentes do Departamento de Bioquímica do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de

Campinas (IB-UNICAMP), em aulas expositivas. Nestas circunstâncias, o objetivo foi verificar a aceitação dos profissionais que efetivamente utilizarão os softwares numa das modalidades mais comuns de aula.

3.2.2 Caracterização geral do alunado

Nesta seção será apresentada uma visão geral do alunado com o qual foram avaliados os softwares desenvolvidos neste trabalho. Trata-se de um espectro amplo, mostrado na figura a seguir:

Figura 3.2-1: Composição total alunado

Por motivo de clareza e conveniência, informações mais detalhadas sobre as características de cada grupo constituinte do alunado serão fornecidas no decorrer deste capítulo, na medida em que se fizerem necessárias.

3.3 O método de avaliação

O método de avaliação dos softwares é subordinado aos objetivos deste trabalho, e, portanto, deve favorecer a aquisição de parâmetros que confirmem ou refutem as premissas que fundamentaram o desenvolvimento dos softwares resultantes do processo de investigação. No tocante à estrutura, devem ser claros o objeto da avaliação e os parâmetros que possibilitam sua apreciação a partir dos dados obtidos no contexto da avaliação. Definida a estrutura, devem ser estabelecidos os métodos de aquisição e tratamento dos dados.

3.3.1 O objeto de avaliação e seus parâmetros

Sendo o objetivo do trabalho investigar a aplicação dos princípios do ensino voltado para o aprendizado de habilidades cognitivas no desenvolvimento de softwares pra o ensino de Bioquímica, define-se:

o objeto de avaliação: o objeto de avaliação é a eficiência instrucional do software, aferida a partir da sua utilização mediada por problemas.

Para os propósitos deste trabalho, define-se o termo "eficiência instrucional" como a consecução dos objetivos estabelecidos para os softwares desenvolvidos. A eficiência instrucional é o objeto da avaliação, pois depende essencialmente da aplicação dos princípios do ensino voltado para o aprendizado de habilidades

cognitivas no desenvolvimento de softwares. Trata-se de um parâmetro qualitativo, portanto.

Na forma como foi definida, a eficiência instrucional é conveniente para a consecução dos objetivos investigativos, porém, não pode ser aferida diretamente, já que não é uma propriedade do contexto de avaliação ou do software avaliado, devendo ser inferida a partir dos parâmetros definidos a seguir.

os parâmetros de inferência do objeto de avaliação são:

parâmetro 1- as características ergonômicas e de organização do conteúdo na interface dos softwares;

parâmetro 2- desempenho dos softwares como fontes de informação em contexto que solicite os conceitos físico-químicos das técnicas cromatográficas em nível cognitivo de Compreensão e da Aplicação.

O parâmetro 1 acessa a eficiência instrucional sob um aspecto mais amplo, substancialmente menos vinculado à natureza do conteúdo do que o parâmetro 2. Tomados os devidos cuidados com o contexto de avaliação, o parâmetro 1 pode servir como termo de comparação entre as inferências sobre a eficiência instrucional de contextos distintos, como será discutido mais adiante.

Os parâmetros acima podem ser determinados a partir de dados provenientes de um método de aquisição conveniente, no contexto de avaliação dos softwares.

3.3.2 Método de aquisição de dados

O método de aquisição de dados deve ser estruturado de tal forma a possibilitar a dedução dos parâmetros que permitam inferir sobre a eficiência instrucional do software no contexto de sua avaliação. Portanto, o método de aquisição de dados deve prover informações sobre os aspectos ergonômicos e as características da interface, bem como expor o papel dos softwares em atividades que solicitem os conceitos físico-químicos das técnicas.

A fim de relacionar estas exigências com o contexto de avaliação desejado, foi escolhido como método de aquisição de dados um questionário composto de três partes:

Parte 1

Voltada para a aquisição de dados referentes à ergonomia e à organização geral do conteúdo do software, a parte 1 é organizada por um questionário na modalidade "Likert". Através da parte 1 são obtidos dados semiquantitativos, a partir da valoração de quesitos específicos, em cinco categorias (Likert, 1932):

Discordo Fortemente (DF); Discordo (D); Indeciso (I);

Concordo (C); Concordo Fortemente (CF).

Os quesitos versam justamente sobre a utilização da interface de acesso ao conteúdo. Também foram incluídos quesitos versando sobre as expectativas dos alunos quanto ao contexto de avaliação. Um exemplo da parte 1 de um questionário está transcrito a seguir:

1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto às afirmações abaixo:

<i>Afirmações</i>	<i>DF</i>	<i>D</i>	<i>I</i>	<i>C</i>	<i>CF</i>
<i>As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização.</i>					
<i>Os desenhos e símbolos adotados no software são familiares e representativos.</i>					

Parte 2

Voltada para a aquisição de dados referentes ao parâmetro 2 (seção 3.3.1), a parte 2 do questionário de avaliação contém problemas referentes ao conteúdo específico do software.

Os problemas da parte 2 dividem-se em dois grupos:

Grupo 1: problemas que abordam os princípios físico-químicos da técnica em nível cognitivo de Compreensão (Bloom, 1956);

Grupo 2: problemas que abordam os princípios físico-químicos da técnica em nível cognitivo de Aplicação (Bloom, 1956).

Embora as questões da parte 2 estejam agrupadas quanto aos aspectos cognitivos, é importante salientar a sua importância epistemológica.

Em primeiro lugar, as questões do grupo exercem a importante função de orientar o acesso ao conteúdo dos softwares na "biblioteca de técnicas", influenciando na natureza da informação que se deseja obter.

Em segundo lugar, as questões do grupo 2 versam sobre os conteúdos que se deseja ensinar através dos softwares e, portanto, são partes importantes dos seus objetivos primordiais como ferramentas para o ensino de Bioquímica, sobretudo porque a avaliação foi realizada no decorrer de cursos de graduação.

As questões da parte 2 do questionário de avaliação foram estruturadas na modalidade múltipla escolha e, em alguns casos, na modalidade dissertativa.

Parte 3

Esta parte do questionário de avaliação não é uma questão propriamente dita, mas uma solicitação que se destina ao registro de quaisquer manifestações dos alunos sobre a utilização dos softwares.

3.3.3 Tratamento e análise dos dados

Os dados obtidos a partir da aplicação dos questionários são as respostas dos alunos aos problemas propostos na atividade de avaliação do software. O conjunto dos dados de uma turma de alunos é tratado de duas maneiras diferentes, descritas a seguir.

Distribuição Geral

A distribuição geral corresponde à ocorrência das alternativas escolhidas nas questões de múltipla de escolha, expressa em percentuais. Este tipo de tratamento visa apenas fornecer parâmetros genéricos de análise e indicar tendências gerais relacionadas às partes 1 e 2 do questionário e seu significado.

Perfil de respostas associadas

O perfil de resposta associadas é uma forma de organizar os dados substancialmente mais detalhada do que a distribuição geral. O perfil de respostas

associadas é obtido a partir da organização das respostas dos alunos em grupos que levam em consideração as relações entre as questões dos questionários.

As respostas às questões devem ser organizadas sequencialmente segundo um critério que possibilite extrair informações sobre os parâmetros de inferência da eficiência instrucional. A construção do perfil de respostas associadas foi organizada sequencialmente segundo o tipo de habilidade cognitiva envolvida na questão.

A chave geral de organização do perfil de respostas associadas contém as respostas das questões que solicitam os conceitos físico-químicos da técnica em nível de Compreensão, e as chaves subordinadas à chave geral contém as respostas das questões que o fazem em nível de Aplicação.

As respostas de cada questionário são avaliadas e organizadas segundo este critério. Cada questionário fornecerá um determinado perfil resultante desta organização. Uma vez obtido este perfil para as respostas de cada questionário, todos os perfis são tabulados numa tabela que representa o perfil de respostas associadas para uma turma de alunos com a qual o software fora avaliado.

Nesta tabela podem ser analisados não apenas as distribuições absolutas de respostas, mas também as relações entre as ocorrências de cada perfil, bem como sua representatividade em relação ao conjunto total de dados.

Como a lógica de correlação utilizada na construção dos perfis é relacionada aos aspectos cognitivos das questões, diversas informações podem ser extraídas a partir da análise dos perfis de respostas associadas. Nas seções seguintes, tais correlações serão exemplificadas no contexto de sua aplicação.

É importante esclarecer que, embora parte da organização dos dados envolva distribuições expressas em termos percentuais, sua análise tem caráter muito mais

qualitativo do que quantitativo, dada a natureza qualitativa da eficiência instrucional. A inclusão de tratamento estatístico para a aquisição dos dados se deve, sobretudo, à sua conveniência para o registro, organização e tabulação dos resultados.

3.4 Teste do método de avaliação

a) Contexto de aplicação

O teste do método de avaliação foi realizado através de sua aplicação na avaliação da seção "Princípios" da unidade de conteúdo "Cromatografia de Permeação em Gel". A unidade foi avaliada com um grupo de 52 alunos do curso de Ciências Farmacêuticas da USP. Tratava-se de alunos do quarto semestre letivo (setembro de 2000), cursando as disciplinas "Bioquímica: Estrutura e Metabolismo de Biomoléculas - QBQ 215" (teórica) e "Bioquímica Experimental - QBQ 216". Nenhum dos alunos havia entrado em contato com a técnica.

Foi solicitado aos alunos que se reunissem em duplas ou trios e que respondessem a um questionário tendo o software como sua única fonte de informação durante a atividade. Embora a atividade tenha sido realizada em grupo, cada aluno respondeu um questionário.

Para cada grupo de alunos havia um microcomputador disponível. Os alunos dispunham de até 120 minutos para concluir a atividade, porém, não foi registrado tempo de utilização superior a 35 minutos nem inferior a 25 minutos.

b) Questionário de avaliação utilizado

Um questionário nos moldes descritos na seção 3.3.3 foi elaborado. O questionário em sua versão integral encontra-se reproduzido no Anexo B e, por conveniência, cada questão encontra-se transcrita no decorrer desta discussão.

O questionário possui cinco questões:

Questão 1 (Q1), dedicada à obtenção de dados para o parâmetro de interface;

Questão 2 (Q2), dedicada à obtenção de dados para o parâmetro de abordagem cognitiva e de conteúdo, em nível de Compreensão;

Questões 3 (Q3) e 4 (Q4), dedicadas à obtenção de dados para o parâmetro de abordagem cognitiva e de conteúdo, em nível de Aplicação;

Questão 5: trata-se de uma solicitação para que o usuário registre suas opiniões sobre a atividade e o software.

É conveniente salientar que Q3 e Q4 são conceitualmente intercorrespondentes, pois envolvem duas situações limite hipotéticas: a exclusão total (esferas rígidas) e a inclusão total (esferas totalmente permeáveis).

c) Resultados

Os dados resultantes da aplicação do questionário foram depurados de duas maneiras, segundo o método descrito na seção 3.3.3: de forma geral, onde são apresentadas as distribuições de alternativas nas respostas às questões, e através do perfil de respostas associadas.

Resultados Gerais

Para facilitar sua apresentação, os resultados foram agrupados com as respectivas questões, tal qual apresentado nas tabelas que se seguem:

TABELA 3.4-a: Resultados Gerais para a Questão 1

<p>1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações de A a E abaixo: (DF: discordo fortemente, D: discordo, I: indeciso / indiferente, C: concordo, CF: concordo fortemente).</p>													
<p><i>A: As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>% das respostas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DF</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>52 %</td> </tr> <tr> <td>CF</td> <td>48 %</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	% das respostas	DF	0 %	D	0 %	I	0 %	C	52 %	CF	48 %
Resposta	% das respostas												
DF	0 %												
D	0 %												
I	0 %												
C	52 %												
CF	48 %												
<p><i>B: Os desenhos e símbolos adotados são familiares e representativos</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>% das respostas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DF</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>2 %</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>46 %</td> </tr> <tr> <td>CF</td> <td>52 %</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	% das respostas	DF	0 %	D	2 %	I	0 %	C	46 %	CF	52 %
Resposta	% das respostas												
DF	0 %												
D	2 %												
I	0 %												
C	46 %												
CF	52 %												
<p><i>C: A sequência do software é adequada</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>% das respostas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DF</td> <td>0 %</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>4 %</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>13 %</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>40 %</td> </tr> <tr> <td>CF</td> <td>43 %</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	% das respostas	DF	0 %	D	4 %	I	13 %	C	40 %	CF	43 %
Resposta	% das respostas												
DF	0 %												
D	4 %												
I	13 %												
C	40 %												
CF	43 %												
<p><i>D: As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>% das respostas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DF</td> <td>2 %</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>21 %</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>8 %</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>54 %</td> </tr> <tr> <td>CF</td> <td>15 %</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	% das respostas	DF	2 %	D	21 %	I	8 %	C	54 %	CF	15 %
Resposta	% das respostas												
DF	2 %												
D	21 %												
I	8 %												
C	54 %												
CF	15 %												
<p><i>E: A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>% das respostas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DF</td> <td>2 %</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>4 %</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>2 %</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>48 %</td> </tr> <tr> <td>CF</td> <td>42 %</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	% das respostas	DF	2 %	D	4 %	I	2 %	C	48 %	CF	42 %
Resposta	% das respostas												
DF	2 %												
D	4 %												
I	2 %												
C	48 %												
CF	42 %												

TABELA 3.4-b: Resultados Gerais para Questão 2

2. *Que propriedade dos componentes da mistura determina sua separação na permeação em gel?*

Resposta: B

TABELA 3.4-c: Resultados Gerais para a Questão 3

3. *Qual dos perfis de eluição abaixo seria esperado para uma mistura de hemoglobina e azul de metileno se as esferas da fase estacionária (gel) fossem sólidas (sem poros)?*

Resposta: C

TABELA 3.4-d: Resultados Gerais para Questão 4

4. *Qual dos perfis de eluição abaixo seria esperado para uma mistura de hemoglobina e azul de metileno se as esferas da fase estacionária (gel) fossem totalmente permeáveis?*

Resposta: B

Questão 1

Para a análise dos resultados obtidos para a Questão 1 (Q1) do questionário de avaliação, é necessário ter em mente os objetivos de cada um dos seus itens:

- i- os itens B, C e E destinam-se à avaliação da ergonomia, sendo os itens C e E referentes à navegação no conteúdo disponível, e o item B referente à inteligibilidade dos elementos componentes da interface da unidade.
- ii- os itens A e D destinam-se à avaliação do conteúdo de uma forma genérica.

Observando-se os dados relacionados a Q1, nota-se que, na distribuição de categorias para os itens A até E, há grande incidência de respostas incluídas nas categorias Concordo e Concordo fortemente (em geral, representam juntas cerca de 80% das respostas). Tais resultados indicam que a avaliação global dos alunos é favorável tanto à ergonomia quanto ao conteúdo apresentado na unidade de conteúdo "Cromatografia de permeação em gel".

Variações mais significativas ocorrem na distribuição de categorias dos itens C e D (no qual a ocorrência da categoria Discordo é 21%). O significado desta diferença em relação aos demais itens merece atenção e será discutido mais adiante mediante comparação com outros dados.

Questões 2, 3 e 4

Salienta-se nos dados apresentados referentes à resposta a Q2:

- 1) 80% é a ocorrência da alternativa B (massa molar);
- 2) 20% é a ocorrência da alternativa C (ligação específica);

3) Não há ocorrência das alternativas A (carga elétrica) e D (hidrofobicidade).

Salienta-se nos dados apresentados referentes às respostas a Q3 e Q4:

1) a ocorrência de alternativas corretas na resposta a Q3 (44%) é maior do que nas respostas a Q4 (33%);

2) embora os conteúdos¹ de Q3 e Q4 sejam recíprocos, em Q4 a distribuição entre as alternativas é mais homogênea do que em Q3, na qual há maior ocorrência das alternativas A e C.

A partir da análise geral dos dados obtidos de Q2, Q3 e Q4, é possível propor o seguinte:

1) a alta ocorrência da alternativa B (alternativa correta) em Q2 indica favorecimento da eficiência instrucional do software em nível de Compreensão do princípio físico-químico técnica²;

2) a diferença significativa na ocorrência da alternativa correta nas respostas a Q3 (44%) e Q4(33%) em relação a Q2 (80 %) é esperada, devido às diferenças no nível cognitivo em que são solicitados os princípios físico-químicos da técnica nos dois grupos de questão.

As proposições acima sugerem que os princípios adotados no método de avaliação (seção 3.3.3) são condizentes com os dados obtidos, uma vez que, levando-se em conta os pressupostos adotados na construção de Q2 Q3 e Q4, os dados obtidos a partir destas questões indicam que a eficiência instrucional do software não contempla satisfatoriamente o nível da Aplicação como o faz em nível de

¹ casos limite (exclusão total e inclusão total) do princípio físico-químico da técnica.

² as diferenças nas dimensões moleculares dos componentes de uma mistura, expressas em termos do seu raio hidrodinâmico (ou raio de giração) e relacionadas diretamente à sua massa molar.

Compreensão. Resta averiguar a validade destas proposições e a coerência dos dados, por meio de uma análise mais detalhada dos mesmos.

Distribuição associada das respostas

Tendo em vista as proposições resultantes da análise geral dos dados, é necessário investigar suas correlações e averiguar sua coerência. Para tanto, os dados decorrentes da aplicação do questionário de avaliação foram reorganizados na tabela que representa o perfil de respostas associadas para Q2, Q3 e Q4 (seção 3.3.3). A tabela possibilita tratamento mais minucioso dos dados por meio de associações como, por exemplo, a associação entre as ocorrências da alternativa correta nas respostas a Q2, a Q3 e também a Q4.

TABELA 3.4-e: Perfil de respostas associadas

Questão 2	Questão 3	Questão 4	linha
A			1
B* 80 %	A 37 %	A 11 %	2
		B 6 %	3
		C 7 %	4
		D 13 %	5
	B 4 %	C 2 %	6
	C 34 %	B 22 %	7
		C 6 %	8
		D 6 %	9
	D 2 %	D 2 %	10
C 20 %	A 4 %	A 4 %	11
	B 2 %	C 2 %	12
	C 14 %	B 6 %	13
		C 8 %	14
	D 6 %	A 4 %	15
		B 2 %	16
D			

*As letras em negrito indicam as respostas corretas para cada questão.

A interpretação da tabela acima é direta, apresentando a distribuição de respostas para Q2, associada para Q2 e Q3 e o conjunto associado completo de Q2, Q3 e Q4.

A análise da tabela de respostas associadas indica que há predominância de dois grupos de dados, distintos quanto à ocorrência da alternativa correta na resposta a Q2. Estes grupos podem ser caracterizados em função de parâmetros estabelecidos a partir da tabela de respostas associadas. Para facilitar a comparação, tais parâmetros e seus respectivos valores para cada grupo estão organizados na tabela a seguir:

TABELA 3.4-f: Caracterização dos grupos representativos da tabela de respostas associadas

Parâmetro	Grupo 1 correta na resposta a Q2	Grupo 2 incorreta na resposta a Q2
1-corretas em Q3 e Q4, %	22	6
2-corretas em Q3, %	34	14
3-corretas em Q4, %	28	8
4-corretas em Q3 e incorretas em Q4, %	12	8
5-incorretas em Q3 e corretas em Q4, %	6	2
6-incorreta mais freqüente em Q3	A (37%)	Não há predominante: A (4%) ~ B(2%) ~D (6%)
7-incorreta mais freqüente em Q4	tendência D (21%)	Não há predominante: A(8%) ~ C(10%)

Os parâmetros 1, 2 e 3 da tabela 3.4f caracterizam os grupos 1 e 2 em relação ao perfil associado de respostas em Q3 e Q4. A principal informação obtida a partir

de sua análise é que há uma correlação direta entre a ocorrência de alternativas corretas nas respostas a Q3 e a Q4 e a ocorrência de alternativas nas respostas a Q2, sendo que a ocorrência de alternativas corretas em Q2 está diretamente relacionada à ocorrência de alternativas corretas em Q3 e Q4.

Os parâmetros 4 e 5 estão relacionados à coerência direta dos dados obtidos a partir das questões Q2, Q3 e Q4. Sendo Q3 e Q4 questões bastante equivalentes, é de se esperar que a ocorrência de alternativas corretas nas respostas a Q3 e a Q4 estejam associadas. Numa situação ideal, seria esperado que a ocorrência de respostas corretas a Q3 e incorretas a Q4 e vice e versa fosse nula, indicando coerência máxima. Naturalmente, devido a inúmeros fatores que interferem na obtenção dos dados, em situações reais são considerados satisfatórios valores baixos deste parâmetro. Sendo assim, os valores calculados para os parâmetros 4 e 5 nos dois grupos indicam que os resultados obtidos são satisfatoriamente coerentes em ambos.

Os parâmetros 6 e 7 apontam tendências associadas ao método de avaliação. Estes parâmetros indicam que há uma diferença significativa entre o grupo 1 e o grupo 2, associada à ocorrência da alternativa incorreta mais comum.

Levando-se em conta a análise dos parâmetros 1 a 7, os objetivos das questões Q2, Q3 e Q4, e os pressupostos com que foram construídas, é possível afirmar que o método de avaliação é coerente em relação ao que pretende aferir com questões como Q2, Q3 e Q4, indicando que os pressupostos adotados para o seu estabelecimento são válidos no seu contexto de aplicação.

As proposições mencionadas anteriormente são, portanto, consideradas válidas. A eficiência instrucional da seção "Princípios" em relação aos princípios físico-químicos da técnica está situada no nível cognitivo de Compreensão.

Aplicação da distribuição associada de respostas com comentários registrados pelos alunos

Visando explorar os limites da análise de dados do método de avaliação, foi analisado outro conjunto de dados obtidos na aplicação do questionário de avaliação: os comentários dos alunos.

Dos 52 alunos respondentes, 25 manifestaram comentários no espaço reservado do questionário de avaliação (questão 5). Trata-se, portanto, de um conjunto de dados numericamente representativo (48 %) a ser explorado.

Uma questão técnica em relação à natureza dos dados poderia ser levantada: como tabular nos mesmos moldes dados como as ocorrências das alternativas e os comentários dos alunos?

Para resolver o aparente impasse, os comentários foram classificados em dois grupos: comentários referentes ao conteúdo do software e comentários não referentes ao conteúdo do software. Em seguida, cada comentário foi vinculado ao perfil de respostas associadas correspondente. Desta forma, uma análise conjunta dos dados pode ser conduzida associando-se os dados provenientes de Q2, Q3 e Q4 com os comentários dos alunos. Os dados assim tabulados estão dispostos a seguir:

TABELA 3.4-g: Distribuição Associada de Respostas e Análise de Comentários

Q2	Q3	Q4	Comentário
B¹ 72² (80) ³	A 37 (37)	A 16 (11)	“... as questões 3 e 4 estão acima do conteúdo...” “...se o software tem como propósito servir de base necessária à resposta de tais questões, ele deve ser modificado para proporcionar todo o conhecimento de que necessita” Não há nenhum comentário sobre conteúdo. Não há nenhum comentário sobre conteúdo.
		B 4 (6)	“... dúvidas nas questões 3 e 4 ... um pouco mais de conteúdo.”
		C 11 (7)	“... prático mas um pouco simplificado...” “A pessoa tem uma noção básica de cromatografia em gel e de modo simples. Porém é necessário que ela saiba o conceito prévio de absorbância...” “As questões 3 e 4 não daria para ser respondida apenas com a utilização deste software.”
		D 8 (13)	“O software está pobre em detalhes gráficos e conceituais, para pessoas que possuem conhecimento prévio não existe grandes problemas, contudo, par aos mais leigos seria muito difícil a compreensão do processo.” “Acho que poderia ter mais exemplos, com vários tipos de situações.”
	C 25 (34)	B 22 (22)	“... poderia ser mais enriquecido com detalhes teóricos...” “... acredito que se possa enriquecer mais o conteúdo sem se perder a didática.” Não há nenhum comentário sobre conteúdo. “...seu software é de fácil entendimento e útil.” “Poderia haver simulações que respondessem as perguntas feitas nesta folha.” “Seria interessante se o software também tivesse um laboratório virtual sobre os outros tipos de esfera na fase estacionária.”
		D 4 (6)	Não há nenhum comentário sobre conteúdo.
	D 4 (2)	D 4 (2)	“Acredito que o software poderia conter mais informações a respeito da técnica (mais detalhes). Deveria ter uma parte básica (como a que fizemos) e outros itens, com mais explicações e opções de experimentos.”
C 28 (20)	A 4 (4)	A 4 (4)	“...faltou alguns conceitos, pois nos ocorreu muitas dúvidas para responder as três questões, e não tivemos para onde recorrer para sana-las.”
	B 4 (2)	C 4 (2)	“... achei interessante... não há cobrança de conteúdo.”
	C 11 (14)	B 4 (6)	“As informações teóricas poderiam ser um pouco menos resumidas. O software ajuda bastante na compreensão.”
		C 8 (8)	“... mais solventes e mais fases estacionárias... uma fase que segurasse mais a hemoglobina e deixasse passar o azul de metileno...” “Software muito bem planejado.”
	D 8 (6)	A 4 (0)	“... fiquei em dúvida sobre a fase estacionária: qual a diferença entre camada totalmente permeável e camada sólida (sem poros)?”
		B 4 (2)	“... está faltando dados importantes para a compreensão do software pois nele não fica claro a diferença entre fase estacionária permeável ou não e se o fato dela ser sem poros ou com poros modifica o fluxo da amostra.”

¹:As letras correspondem à alternativa escolhida; ² valor percentual em relação às avaliações que continham comentários (n=25); ³: valor percentual em relação ao total de avaliações (n=52).

É importante ressaltar a representatividade dos dados dispostos na tabela. Vale considerar a observação realizada anteriormente, que leva em conta o número de alunos que registraram seus comentários, ou seja, 25 alunos ou 48% do total de alunos. É conveniente também adotar como indicador de representatividade o fato de que a distribuição das alternativas escolhidas para os 25 alunos que registraram comentários é muito semelhante à distribuição do conjunto total de alunos, o que se explicita pela sua comparação com os valores mostrados entre parênteses na tabela 3.4g. Considera-se estes dados representativos quantitativamente, pelo contingente numérico de respostas, e qualitativamente, pela semelhança dos perfis de respostas associadas.

Como tendência geral, há nos comentários um clamor dos alunos por mais conteúdo, sobretudo para responder Q3 e Q4. Fica clara a expectativa de que o software forneça exatamente aquilo que fora perguntado no questionário de avaliação, o que é esperado, pois este é justamente o comportamento reforçado na vida escolar pregressa dos alunos.

Este tipo de postura frente à informação se reflete na alta ocorrência de alternativas corretas nas respostas a Q2. Uma vez que Q2 solicita os conceitos físico-químicos da técnica em nível de Compreensão, a resposta correta pode ser obtida diretamente do conteúdo da seção "Princípios".

O clamor dos alunos pelo conteúdo é, de certa forma, uma manifestação de seu estranhamento diante do questionário de avaliação em relação ao referencial pré-existente de questionário, que geralmente não extrapola os limites cognitivos de Compreensão. Alguns alunos, inclusive, mostraram-se surpresos ao serem

informados que o que estava sendo avaliado na atividade era o software, e não seu desempenho no curso.

Delineia-se uma tendência importante na relação do alunado com a informação apresentado no software. A partir desta relação é possível realizar suposições plausíveis para algumas das questões emergentes da análise geral dos resultados.

A primeira delas é a maior incidência de respostas nas categorias Discordo e Indeciso nos itens C e D em Q1. Levando-se em conta a relação dos alunos com a informação, a incidência nestas categorias pode estar relacionada à expectativa não concretizada de obter no software respostas diretas para todas as questões propostas.

O item C, embora trate da organização do conteúdo, sofre influências da relação do aluno com a informação, pois a organização do conteúdo do software parece deficiente quando respostas diretas não são encontradas.

Especula-se que, se todas as questões se limitassem à compreensão do conteúdo, haveria menor incidência nas categorias Discordo e Indeciso nos itens C e D de Q1.

d) considerações finais sobre o método de avaliação

Os resultados apresentados indicam que o método de avaliação fornece dados coerentes a partir dos quais é possível obter parâmetros para a avaliação da eficiência instrucional do software, sendo válidas as premissas adotadas na seção 3.3.3.

3.5 Avaliação do software "Cromatografia de Permeação em Gel"

A avaliação do software "Cromatografia de Permeação em Gel" merece destaque neste trabalho. Tendo sido a primeira unidade de conteúdo desenvolvida, sua avaliação foi fundamental para estabelecer não só método de avaliação em si, mas as diretrizes de desenvolvimento de softwares.

3.5.1 Avaliação da seção "Princípios": um estudo comparativo com alunos de diferentes cursos

a) Contexto de avaliação

Na seção anterior, dedicada ao estabelecimento do método de avaliação em si, foi apresentada a avaliação da seção "Princípios" com alunos do segundo ano do curso de Ciências Farmacêuticas da USP. Há de se considerar que o curso de Ciências Farmacêuticas possui carga horária de Físico-Química e Química Analítica superior aos demais cursos das Áreas Biológicas e da Saúde. Para ampliar o espectro de contextos de avaliação, foi realizada uma avaliação comparativa do desempenho do software com diferentes turmas. Para tanto se optou em restringir a avaliação à seção "Princípios" da unidade "Cromatografia de Permeação em Gel", uma vez que esta foi avaliada previamente para o estabelecimento do método, o que fornece referenciais para o estudo comparado.

O alunado envolvido na avaliação está descrito a seguir:

Grupo 1: 32 alunos do segundo ano do curso de Biologia da Unicamp, cursando a disciplina de Bioquímica.

Grupo2: 35 alunos do primeiro ano do curso de Nutrição (noturno), da USP, cursando a disciplina de Bioquímica.

Grupo3: alunos do primeiro semestre do curso de Enfermagem da UNICAMP e alunos do sétimo semestre do curso de Farmácia da UNIARARAS, cursando a disciplina de inverno “Práticas de Bioquímica” (30 horas). O software foi utilizado por 16 alunos como atividade complementar.

É importante salientar que os alunos do grupo 2 e do grupo 3 já haviam realizado aula prática envolvendo a técnica.

Foi solicitado aos alunos que se reunissem em duplas ou trios e que respondessem a um questionário tendo o software como sua única fonte de informação. Para cada grupo de alunos havia um microcomputador. O tempo disponível para a atividade fora 120 minutos, embora, em nenhum caso, o tempo máximo de utilização tenha excedido 40 minutos.

b) Questionário de avaliação utilizado

O mesmo questionário citado na seção anterior foi utilizado (Anexo B1).

c) Resultados

Os dados da aplicação do questionário foram analisados de duas maneiras: resultados gerais e distribuição de respostas associadas.

Resultados Gerais

Os resultados dos valores médios das escolhas assinaladas pelos alunos estão apresentados abaixo, divididos por questão para cada grupo de alunos.

Questão 1(Q1)

TABELA 3.5-a: Distribuição de respostas para Q1

1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações de A a E: (DF: discordo fortemente, D: discordo, I: indeciso / indiferente, C: concordo, CF: concordo fortemente).																												
Legenda: Biologia: Nutrição: Práticas: 																												
<i>A: As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização</i>	<table><caption>Data for Statement A</caption><thead><tr><th>Resposta</th><th>Biologia (%)</th><th>Nutrição (%)</th><th>Práticas (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CF</td><td>65</td><td>10</td><td>10</td></tr><tr><td>C</td><td>35</td><td>45</td><td>90</td></tr><tr><td>I</td><td>0</td><td>20</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>25</td><td>0</td></tr><tr><td>DF</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>				Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)	CF	65	10	10	C	35	45	90	I	0	20	0	D	0	25	0	DF	0	0	0
Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)																									
CF	65	10	10																									
C	35	45	90																									
I	0	20	0																									
D	0	25	0																									
DF	0	0	0																									
<i>B: Os desenhos e símbolos adotados são familiares e representativos</i>	<table><caption>Data for Statement B</caption><thead><tr><th>Resposta</th><th>Biologia (%)</th><th>Nutrição (%)</th><th>Práticas (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CF</td><td>40</td><td>0</td><td>25</td></tr><tr><td>C</td><td>60</td><td>70</td><td>50</td></tr><tr><td>I</td><td>0</td><td>30</td><td>25</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>DF</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>				Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)	CF	40	0	25	C	60	70	50	I	0	30	25	D	0	0	0	DF	0	0	0
Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)																									
CF	40	0	25																									
C	60	70	50																									
I	0	30	25																									
D	0	0	0																									
DF	0	0	0																									
<i>C: A seqüência do software é adequada</i>	<table><caption>Data for Statement C</caption><thead><tr><th>Resposta</th><th>Biologia (%)</th><th>Nutrição (%)</th><th>Práticas (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CF</td><td>40</td><td>20</td><td>25</td></tr><tr><td>C</td><td>35</td><td>60</td><td>75</td></tr><tr><td>I</td><td>25</td><td>10</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>10</td><td>0</td></tr><tr><td>DF</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>				Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)	CF	40	20	25	C	35	60	75	I	25	10	0	D	0	10	0	DF	0	0	0
Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)																									
CF	40	20	25																									
C	35	60	75																									
I	25	10	0																									
D	0	10	0																									
DF	0	0	0																									
<i>D: As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.</i>	<table><caption>Data for Statement D</caption><thead><tr><th>Resposta</th><th>Biologia (%)</th><th>Nutrição (%)</th><th>Práticas (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CF</td><td>40</td><td>5</td><td>10</td></tr><tr><td>C</td><td>30</td><td>45</td><td>50</td></tr><tr><td>I</td><td>30</td><td>30</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>20</td><td>40</td></tr><tr><td>DF</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>				Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)	CF	40	5	10	C	30	45	50	I	30	30	0	D	0	20	40	DF	0	0	0
Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)																									
CF	40	5	10																									
C	30	45	50																									
I	30	30	0																									
D	0	20	40																									
DF	0	0	0																									
<i>E: A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.</i>	<table><caption>Data for Statement E</caption><thead><tr><th>Resposta</th><th>Biologia (%)</th><th>Nutrição (%)</th><th>Práticas (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>CF</td><td>50</td><td>35</td><td>25</td></tr><tr><td>C</td><td>50</td><td>60</td><td>75</td></tr><tr><td>I</td><td>0</td><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>DF</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>				Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)	CF	50	35	25	C	50	60	75	I	0	5	0	D	0	0	0	DF	0	0	0
Resposta	Biologia (%)	Nutrição (%)	Práticas (%)																									
CF	50	35	25																									
C	50	60	75																									
I	0	5	0																									
D	0	0	0																									
DF	0	0	0																									

O aspecto mais marcante em Q1 é a convergência dos resultados, expresso nas distribuições de categorias dos itens A até E.

Nos itens A, B e C, há predominância de escolhas nas categorias Concordo (C) e Concordo fortemente (CF), indicando que o alunado aprova a interface da seção "Princípios" quanto à ergonomia, à navegabilidade e à organização dos conteúdos. No item A, há predominância da categoria CF para os alunos do curso de Biologia-UNICAMP, devido ao fato particular destes alunos estarem habituados a atividades com softwares (informações cedidas pelo Prof. Dr. Eduardo Gallembek, responsável pela atividade).

O item D, referente ao conteúdo, apresenta maior dispersão nas categorias escolhidas pelo alunado, fato observado também na avaliação realizada com alunos do curso de Ciências Farmacêuticas, apresentada na seção anterior.

O item E apresenta maior incidência nas categorias C e CF para todo o alunado. O resultado indica que, tanto os alunos que já realizaram experimentos (alunos dos cursos de Biologia e Práticas de Bioquímica), quanto aqueles que nunca o fizeram (curso Nutrição), qualificam o software como fonte adequada de informação sobre os aspectos operacionais básicos da técnica "Cromatografia de Permeação em Gel".

Questão 2 (Q2)

TABELA 3.5-b: Distribuição de respostas para Q1

Os resultados obtidos em Q2 indicam que o alunado em sua maioria é capaz de compreender o princípio físico químico da técnica, o que se sobrepõem à pequena ocorrência de alternativas incorretas no grupo de alunos do curso de Nutrição (cerca de 10%).

Questão 3 (Q3) e Questão 4 (Q4)

TABELA 3.5-c: Distribuição de respostas para Q3

TABELA 3.4-d: Distribuição de respostas para Q4

Embora haja alguma variação na sua distribuição, em Q3 e Q4 há menor ocorrência de respostas corretas em todos os grupos de alunos. Tal qual na avaliação apresentada na seção anterior, isto decorre do fato de Q3 e Q4 solicitarem os princípios físico-químicos da técnica no nível cognitivo de Aplicação. Neste sentido, a distribuição nas ocorrências das alternativas em Q3 e Q4 é coerente com a distribuição de categorias do item D em Q1, e relaciona-se ao fato dos alunos tomarem o software como fonte de informação direta, buscando identidades entre as informações da questão e do software. Como as respostas de Q3 e Q4 não estão explícitas no software, há maior dificuldade na sua resolução, o que é interpretado como deficiência de conteúdo.

Perfil de respostas associadas

TABELA 3.5-e: Perfil de respostas associadas

Questão 2	Questão 3	Questão 4
A		
B* Farmácia**:80% Biologia: 100 % Nutrição: 90 % Práticas: 100%	A Farmácia: 37% Biologia: 50% Nutrição: 30 % Práticas: 20%	A Farmácia: 11%
		B Farmácia: 6% Biologia: 5% Nutrição: 10 %
		C Farmácia: 7% Biologia: 40% Práticas: 20%
		D Farmácia: 13% Nutrição: 20%
	B Farmácia:4% Biologia: 5% Nutrição: 10 %	A Biologia: 10% Práticas: 5%
		C Farmácia: 2% Nutrição: 10 %
	C Farmácia:34% Biologia: 40% Nutrição: 45 % Práticas: 50%	B Farmácia: 22% Biologia: 35% Nutrição: 10 % Práticas: 5%
		C Farmácia: 6% Biologia: 5%
		D Farmácia: 6% Nutrição: 35 % Práticas: 45%
	D Farmácia: 2% Biologia: 5% Nutrição: 5 % Práticas: 30%	B Biologia: 5%
C Farmácia:20% Nutrição: 10 %	A Farmácia: 4% Nutrição: 5 %	D Nutrição: 5%
	B Farmácia: 2% Nutrição: 5 %	C Nutrição: 5%
	C Farmácia: 14%	B Farmácia: 6%
	D Farmácia: 4%	C Farmácia: 8%
		A Farmácia: 4%
D		B Farmácia: 2%

* respostas corretas para cada questão. ** dados referentes à seção anterior

A Tabela 4.5e apresenta o perfil de respostas associadas para a avaliação da seção "Princípios" da unidade "Cromatografia de Permeação em Gel" com diferentes turmas. Os dados da seção anterior (seção 3.4) foram acrescentados à tabela para comparação.

O objetivo da presente avaliação da seção "Princípios" foi verificar se o resultado positivo obtido na avaliação apresentada na seção 3.4 se confirma com alunos provenientes de cursos com menor carga horária de disciplinas de Química e, em tese, menor volume de conhecimentos prévios adjacentes aos conceitos abordados no software.

Dos dados da Tabela 3.5e conclui-se que o resultado positivo obtido com alunos do curso de Ciências Farmacêuticas (seção 3.4) se repete com os alunos dos outros cursos. Os resultados que sustentam esta conclusão são os seguintes:

- a) elevada ocorrência de alternativas corretas nas respostas a Q2, questão que solicita os conceitos físico-químicos da técnica em nível de Compreensão;
- b) das ocorrências de alternativas corretas nas respostas a Q3 e Q4, a maior parte está associada às ocorrências de alternativas corretas nas respostas a Q2, conforme se verifica nos dados apresentados a seguir:

TABELA 3.5-f: Correlação entre as ocorrências de alternativas corretas nas respostas a Q3 e Q4, e a Q2

Grupo de alunos	% das ocorrências de alternativas corretas em Q3 associadas às ocorrências de alternativas corretas em Q2	% das ocorrências de alternativas corretas em Q3 associadas às ocorrências de alternativas corretas em Q2
Farmácia	70	80
Biologia	100	100
Nutrição	100	100
Práticas	100	100

O item "a" acima é o indicador principal de que a mesma eficiência instrucional se observa com alunos de diferentes cursos de graduação, e o item "b" credita os dados do item "a", explicitando que a alta ocorrência de alternativas corretas nas respostas a Q2 não é aleatória, já que está associada diretamente à alta ocorrência de alternativas corretas nas respostas às questões mais complexas do questionário de avaliação (Q3 e Q4).

A distribuição de respostas associadas também motiva uma revisão da premissa inicial que motivou a avaliação. Os resultados positivos obtidos com grupos de alunos de diferentes cursos demonstram que o volume de conceitos prévios não é o fator responsável pelo grande ocorrência de alternativas corretas registrada na avaliação do software.

Porém, ao se considerar também a aplicação dos conceitos, as diferenças entre as turmas se manifestam de forma mais acentuada. Um exemplo da manifestação

destas diferenças é associação das ocorrências de alternativas corretas nas respostas as questões Q2, Q3 e Q4:

Tabela 3.5-g: ocorrências de alternativas corretas nas respostas as questões Q2, Q3 e Q4 nos diferentes grupos de alunos.

grupo	ocorrências de alternativas corretas nas respostas as questões Q2, Q3 e Q4
Farmácia	22 %
Biologia	35 %
Nutrição	10 %
Práticas	5 %

Fica claro que, nos dados acima, há divisão do alunado em dois grupos distintos: Biologia e Farmácia, e Nutrição e Práticas Experimentais. Tal divisão é um reflexo do volume de conhecimentos prévios adjacentes aos conceitos envolvidos no software, detectado nesta etapa de sua avaliação.

Há de se considerar também que outros fatores que interferem na eficiência instrucional do software não são discriminados neste estudo, destacando-se dentre estes a motivação dos alunos em relação ao conteúdo específico.

d) Conclusão geral da avaliação comparativa com diferentes turmas

As diferenças entre os grupos de alunos que participaram da avaliação da seção "Princípios" parecem não interferir na eficiência instrucional do software quando tomada em nível de Compreensão dos princípios físico-químicos da técnica.

3.5.2 Avaliação integrada da seção "Aplicações" do software cromatografia de "Permeação em Gel"

A estrutura de organização geral do conteúdo dos softwares produzidos neste trabalho admite a possibilidade do uso independente das seções "Princípios" e "Aplicações". Contudo, a proposta de utilização do software fundamenta-se na integração entre as seções de cada unidade de conteúdo.

Por este motivo, embora haja a possibilidade técnica de se avaliar isoladamente a seção "Aplicações" da unidade de conteúdo "Cromatografia de Permeação em Gel", foi priorizada sua avaliação durante utilização integrada com a seção "Princípios".

Os objetivos principais desta avaliação são caracterizar a eficiência instrucional da seção "Aplicações", e analisar a interferência da utilização integrada das seções "Princípios" na eficiência instrucional da unidade de conteúdo "Cromatografia de Permeação em Gel".

Na discussão da eficiência instrucional da seção "Princípios", serão utilizados, os resultados obtidos com o alunado referente à avaliação discutida na seção 3.4.

a) Contexto de avaliação

Este estudo foi realizado com alunos do curso de Ciências Farmacêuticas, (54 alunos do período diurno e 46 alunos do noturno), do quarto semestre (setembro de 2001), cursando as disciplinas "Bioquímica: Estrutura e Metabolismo de Biomoléculas - QBQ 215" (teórica) e "Bioquímica Experimental - QBQ 216".

Nenhum dos alunos havia entrado em contato com a técnica.

Os alunos utilizaram o software em duplas ou trios, sendo solicitada a entrega de apenas um questionário por grupo.

Havia um microcomputador disponível para cada grupo e o tempo de utilização disponível foi de 120 minutos, embora em nenhum caso tenha extrapolado 45 minutos.

b) Questionário de avaliação utilizado

Foi utilizado o mesmo questionário de avaliação da seção "Princípios" (seção 3.4), acrescido de quatro questões. O questionário encontra-se apresentado integralmente no Anexo B2, sendo as questões transcritas em momento oportuno desta discussão.

c) Resultados

Resultados Gerais

Os valores médios das escolhas dos alunos estão apresentados a seguir, divididos por questão. A legenda "Anterior" indica os dados referentes à seção 3.4.

Questão 1(Q1)

TABELA 3.5-h: Distribuição de categorias para a questão 1:

Legenda	Anterior:	Diurno:	Noturno:																								
1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações de A a E abaixo: (DF: discordo fortemente, D: discordo, I: indeciso / indiferente, C: concordo, CF: concordo fortemente).																											
A: As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização	<table border="1"> <caption>Data for Statement A</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Anterior (%)</th> <th>Diurno (%)</th> <th>Noturno (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>80</td> <td>80</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>DF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)	CF	0	0	48	C	80	80	52	I	0	20	0	D	0	20	0	DF	0	0	0
Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)																								
CF	0	0	48																								
C	80	80	52																								
I	0	20	0																								
D	0	20	0																								
DF	0	0	0																								
B: Os desenhos e símbolos adotados são familiares e representativos	<table border="1"> <caption>Data for Statement B</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Anterior (%)</th> <th>Diurno (%)</th> <th>Noturno (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CF</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>60</td> <td>40</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>DF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)	CF	40	60	52	C	60	40	48	I	0	0	0	D	0	0	0	DF	0	0	0
Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)																								
CF	40	60	52																								
C	60	40	48																								
I	0	0	0																								
D	0	0	0																								
DF	0	0	0																								
C: A seqüência do software é adequada	<table border="1"> <caption>Data for Statement C</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Anterior (%)</th> <th>Diurno (%)</th> <th>Noturno (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CF</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>10</td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>DF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)	CF	30	20	42	C	50	80	40	I	10	15	0	D	10	5	0	DF	0	0	0
Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)																								
CF	30	20	42																								
C	50	80	40																								
I	10	15	0																								
D	10	5	0																								
DF	0	0	0																								
D: As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.	<table border="1"> <caption>Data for Statement D</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Anterior (%)</th> <th>Diurno (%)</th> <th>Noturno (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CF</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>20</td> <td>20</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>DF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)	CF	30	20	15	C	40	60	55	I	10	10	0	D	20	20	22	DF	0	0	2
Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)																								
CF	30	20	15																								
C	40	60	55																								
I	10	10	0																								
D	20	20	22																								
DF	0	0	2																								
E: A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.	<table border="1"> <caption>Data for Statement E</caption> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>Anterior (%)</th> <th>Diurno (%)</th> <th>Noturno (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CF</td> <td>40</td> <td>20</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>0</td> <td>20</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>10</td> <td>5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>DF</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>			Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)	CF	40	20	42	C	30	60	48	I	0	20	2	D	10	5	0	DF	0	0	2
Category	Anterior (%)	Diurno (%)	Noturno (%)																								
CF	40	20	42																								
C	30	60	48																								
I	0	20	2																								
D	10	5	0																								
DF	0	0	2																								

A observação das distribuições de categorias em todos os itens de Q1 ressalta a grande semelhança nas escolhas dos três grupos de alunos (turmas do curso diurno e noturno referentes à presente seção e a turma referente à seção 3.4). Em todos os itens, nota-se uma tendência geral: a predominância das categorias Concordo (C) e Concordo fortemente (CF).

Esta tendência é especialmente acentuada para os itens A, B e C, relacionados à interface do software. Assim como no caso do alunado referente à seção 3.4 deste trabalho, o alunado referente à presente seção considera satisfatórias a ergonomia, a organização do conteúdo e a estrutura de navegação do software.

Repete-se também a opinião dos alunos ao considerar o software uma forma adequada de preparação para a execução da técnica em laboratório, registrada nos resultados do item E.

O caráter convergente dos perfis de respostas mostrados nesta seção e na seção 3.4 indica que as eventuais diferenças no alunado, quanto aos conhecimentos prévios e às habilidades necessárias para a utilização do software, não afetam profundamente os resultados obtidos com este tipo de instrumento de avaliação. Portanto, para os estudos comparativos entre as avaliações efetuadas com o método estabelecido neste trabalho, são válidas as considerações sobre os aspectos instrucionais do software a partir da comparação dos dados coletados com os alunos envolvidos nas duas avaliações.

Questão 2 (Q2)

TABELA 3.5-i: Resultados gerais para a questão 2:

Em Q2 observa-se a tendência que é a tônica para as demais questões dedicadas ao conteúdo: maior ocorrência de alternativas corretas em relação aos dados apresentados na seção 3.4. No caso de Q2, da comparação dos resultados obtidos com o alunado da seção 3.4 com os resultados da presente seção, sobressalta-se o fato de todos os alunos terem optado pela alternativa correta, indicando que o parâmetro que caracteriza a eficiência instrucional do software em nível de Compreensão atingiu o limite máximo mensurável do método de avaliação. Nos resultados apresentados na seção 3.4, esta tendência é menos acentuada, já que há maior ocorrência de respostas incorretas.

Embora ainda não seja possível afirmar categoricamente, a análise geral dos resultados de Q2 indica que a diferença constatada nos dados das duas seções é devida à utilização da seção "Aplicações" na avaliação referente a esta seção. Porém, não é possível descartar a influência das particularidades de cada turma sobre estes resultados.

Questão 3 (Q3) e Questão 4 (Q4)

TABELA 3.5-j: Resultados gerais para a questão 3:

TABELA 3.5-k: Resultados gerais para a questão 4:

A distribuição de respostas em Q3 e Q4 demarca claramente as diferenças fundamentais entre os resultados da seção 3.4 e os da presente seção, salientando-se:

- i - o aumento na ocorrência total de alternativas corretas, de 45% (3.4) para 60% (noturno) e 80% (diurno) em Q3, e de 30% (3.4) para 60% (noturno) e 70% (diurno) em Q4.
- ii - dispersão entre as alternativas escolhidas, mais acentuada no caso dos dados da seção 3.4.

Confirma-se a indicação levantada pelos resultados de Q2, isto é, a utilização da seção "Aplicações" exerce influência positiva sobre o parâmetro de análise da eficiência instrucional da seção "Princípios". Esta constatação fundamenta-se no tipo de solicitação cognitiva das questões 3 e 4, nas quais a ocorrência de alternativas corretas está associada mais à aplicação dos conceitos abordados no software do que aos conhecimentos prévios do aluno, que neste caso não são profundos.

Ao contrário do que possa sugerir, esta constatação não se contrapõe às conclusões da avaliação da seção princípios com alunos de diferentes cursos (seção 3.5.1), por duas razões. Em primeiro lugar, naquele caso os alunos não contaram com a seção "Aplicações" e, portanto, são as diferenças entre as turmas a causa mais provável das diferenças observadas na ocorrência de alternativas corretas em Q3 e Q4. Em segundo lugar, no presente estudo estão sendo comparados os resultados obtidos com alunos cujas eventuais diferenças quanto aos conhecimentos prévios são significativamente menores em relação aos alunos envolvidos na avaliação da seção 3.5.1.

Portanto, a utilização conjunta da seção "Aplicações" é o fator responsável pela maior ocorrência de respostas corretas em Q3 e Q4, observada nos dados da presente seção em relação àqueles da seção 3.4.

A influência da utilização conjunta da seção "Aplicações" sobre os resultados apresentados é consequência da oportunidade que representa para que haja reflexão sobre os conceitos físico-químicos da técnica, introduzidos na seção "Princípios". Assim, é de se esperar maior ocorrência de repostas corretas em Q3 e Q4, que solicitam os princípios físico-químicos da técnica em um nível cognitivo superior.

A análise dos resultados obtidos em Q2, Q3 e Q4 indicam que a eficiência instrucional da seção "Princípios" do software é favorecida com a utilização conjunta da seção "Aplicações".

Embora seja esperado, resta avaliar se o inverso ocorre, isto é, se a utilização da seção "Princípios" favorece a eficiência instrucional da seção "Aplicações".

Questão 5 (Q5) e Questão 6 (Q6)

TABELA 3.5-1: Resultados gerais para a questão 5:

TABELA 3.5-m: Resultados gerais para a questão 6:

Q5 e Q6 tratam especificamente do conteúdo do tópico "Separação de Substâncias". Embora envolvam situações de aplicação da técnica, não é possível classificar categoricamente estas questões quanto ao nível cognitivo em que solicitam os princípios físico-químicos da técnica, como ocorre em Q2, Q3 e Q4.

A grande semelhança na ocorrência de alternativas nas turmas Noturno e Diurno em Q6, segue a mesma tendência observada nas questões Q1 a Q4 para estas turmas. Portanto, pela comparação do perfil das ocorrências de alternativas escolhidas, Q5 foi desconsiderada, e o resultado de Q6 foi adotado pela sua coerência com os demais perfis obtidos para as mesmas turmas.

Em Q6 os resultados indicam tendência favorável para a eficiência instrucional do tópico, apontando provavelmente que a maior parte do alunado foi capaz de interpretar a informação contida nos gráficos de " K_f x massa molar" e associar as diferenças de afinidade das amostras virtuais com as possíveis aplicações da técnica.

Questão 7(Q7) e Questão 8 (Q8)

TABELA 3.5-n: Resultados gerais para a questão 7:

Legenda: Diurno: ■ Noturno: ■			
7. Um laboratório dispõe de 2 conjuntos de padrões de massa molar. Qual dos conjuntos seria mais apropriado para determinar a massa molar de uma proteína de massa molar entre 1 e 10 kD?
Resposta: B			
Conjunto A		Conjunto B	
Padrão	Massa molar, kD	padrão	Massa molar, kD
1	25	6	1.5
2	50	7	2.6
3	120	8	8.4
4	160	9	10.3

TABELA 3.5-o: Resultados gerais para a questão 8:

Legenda: Diurno: ■ Noturno: ■			
8. Um extrato celular foi purificado por cromatografia de permeação em gel. Obteve-se uma fração rica em proteína e deseja-se determinar sua massa molar. Dispõe-se da curva padrão apresentada ao lado. A respeito da curva padrão disponível, a alternativa correta é			
a) A curva é inadequada pois a fração possui massa molar maior que a dos padrões utilizados.			
b) A curva é inadequada pois a fração possui massa molar menor que a dos padrões utilizados.			
c) A curva é adequada.			
Dados: Intervalo de fracionamento da coluna usada na obtenção da fração protéica: 25k D a 70k D. Log 10000 = 4; log 100 = 2		Resposta: A

Q7 e Q8 abordam o conteúdo do tópico "Estimativa da Massa Molar". Assim como no caso de Q5 e Q6, não é possível classificá-las com precisão quanto ao nível cognitivo de suas solicitações. Porém, é possível afirmar que as solicitações em Q7

se aproximam mais do nível de Compreensão, e que as solicitações em Q8 se aproximam mais do nível de Aplicação do princípio físico-químico da técnica.

Em Q7 o conceito de massa molar se sobrepõe ao conceito de curva padrão. A alta ocorrência de alternativas corretas sugere que o alunado foi capaz de compreender um pressuposto importante na determinação de massa molar através da cromatografia por permeação em gel: o intervalo da curva padrão deve incluir a massa molar a ser determinada.

Em relação à Q7, Q8 solicita mais conceitos prévios, além da habilidade de interpretar gráficos. Em Q8 os conceitos de curva padrão e intervalo de massa molar são exigido na interpretação de uma curva modelo. A ocorrência de alternativas corretas em Q8 é aproximadamente 60% para as duas turmas, sugerindo que boa parte do alunado pode articular os conceitos mencionados.

A análise dos resultados gerais de Q8 e Q7 indica que a eficiência instrucional do tópico "Estimativa de Massa" é satisfatória.

Distribuição Associada das Respostas

A análise comparativa dos resultados de Q2, Q3 e Q4 desta seção com aqueles obtidos da seção 3.4, indica que a utilização da seção "Aplicações" do software favorece a eficiência instrucional da seção "Princípios". O outro objetivo da presente seção é averiguar se a utilização da seção "Princípios" influencia a eficiência instrucional da seção "Aplicações". Para tanto, outra análise pelo método do perfil de respostas associadas foi realizada, associando-se as respostas das questões dedicadas à seção "Princípios" (Q2, Q3 e Q4) com as respostas de cada questão dedicadas à seção "Aplicações". Foram construídas 3 tabelas, apresentadas a seguir:

TABELA 3.5-p: Distribuição de respostas associadas: Q2, Q3, Q4 e Q6

Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 6
A			
B* Noturno: 100 % Diurno: 100 %	A Noturno: 20% Diurno: 20%	C Noturno: 20% Diurno: 10%	A Noturno: 20% B Diurno: 10%
		D Diurno: 10%	B Diurno: 10%
	C Noturno: 60% Diurno: 80 %	B Noturno: 60% Diurno: 70%	A Diurno: 10% B Noturno: 60% Diurno: 60%
		D Diurno: 10%	D Diurno: 20%
	D Noturno: 20%	A Noturno: 20%	B Noturno: 20%
C			
D			

TABELA 3.5-q: Distribuição de Respostas Associadas: Q2, Q3, Q4 e Q7

Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 7
A			
B* Noturno: 100 % Diurno: 100 %	A Noturno: 20% Diurno: 20%	C Noturno: 20% Diurno: 10%	B Noturno: 20% B Diurno: 10%
		D Diurno: 10%	B Diurno: 10%
	C Noturno: 60% Diurno: 80 %	B Noturno: 60% Diurno: 70%	B Noturno: 60% Diurno: 60%
		D Diurno: 10%	B Diurno: 20%
	D Noturno: 20%	A Noturno: 20%	B Noturno: 20%
C			
D			

TABELA 3.5-r: Distribuição de Respostas Associadas: Q2, Q3, Q4 e Q8			
Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 8
A			
B* Noturno: 100 % Diurno: 100 %	A Noturno: 20% Diurno: 20%	C Noturno: 20% Diurno: 10%	A Diurno: 10% C Noturno: 20% B Diurno: 10%
	C Noturno: 60% Diurno: 80 %	D Diurno: 10%	
		B Noturno: 60% Diurno: 70%	A Noturno: 40% Diurno: 50% B Diurno: 10% C Noturno: 20% Diurno: 10%
		D Diurno: 10%	A Diurno: 20%
	D Noturno: 20%	A Noturno: 20%	A Noturno: 20%
C			
D			

Nas tabelas acima foram destacados os dados referentes aos acertos combinados para as várias questões. Estes dados contêm informações relevantes para avaliar a interferência da utilização de uma seção do software sobre a outra, uma vez que as relações entre os dados estão vinculadas a tal interferência. Uma forma simples e conveniente de analisar a relação entre os dados nas tabelas acima é considerar a fração das ocorrências de alternativas corretas em Q6, Q7 e Q8 que está associada à ocorrência de alternativas corretas em Q2, Q3 e Q4. Estes dados estão apresentados na tabela a seguir:

TABELA 3.5-s: Ocorrência de alternativas corretas associadas

Questão	A: ocorrência total de alternativas corretas %		B: fração de A associada à ocorrência de alternativas corretas em Q2, Q3 e Q4, %	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
Q6	80	80	75	75
Q7	100	100	60	60
Q8	80	60	60	70

Os dados acima sugerem fortemente que há uma relação direta entre a ocorrência de alternativas corretas em Q2, Q3 e Q4, as questões dedicadas aos parâmetros cognitivos da eficiência instrucional da seção "Princípios", com a ocorrência de alternativas corretas em Q6, Q7 e Q8, as questões dedicadas ao parâmetro equivalente da eficiência instrucional da seção "Aplicações". Em Q6, Q7 e Q8, boa parte das ocorrências das alternativas corretas estão diretamente associadas à ocorrência de alternativas corretas em Q2 e Q3 e Q4, inclusive. É claro, portanto, que a utilização conjunta das seções "Princípios" e "Aplicações" da unidade de conteúdo avaliada favorece a eficiência instrucional de ambas as seções do software, reciprocamente.

A avaliação das seções "Princípios" e "Aplicações" nos permite concluir que sua utilização conjunta contribui para que haja reflexão sobre os conceitos fundamentais apresentados na seção "Princípios", o que, por sua vez, facilita o entendimento das aplicações da técnica. Os resultados desta avaliação confirmam as premissas deste trabalho, contrapondo-se à concepção mais comum do software enciclopédico.

3.6 Avaliação do software "Cromatografia de Troca Iônica"

A seção 3.5 deste trabalho trata da avaliação conjunta das seções “Princípios” e “Aplicações” do software cromatografia de Permeação em Gel, tendo se evidenciado o aumento da eficiência instrucional do software no aprendizado dos princípios físico-químicos da técnica. Constatou-se que este aumento não é meramente aditivo, mas sinérgico entre as seções “Princípios” e “Aplicações”. Nesta seção, será apresentada a avaliação do software "Cromatografia de Troca Iônica", no contexto de sua utilização integrada com o software "Cromatografia de Permeação em Gel".

a) Contexto de avaliação

A avaliação do software “Cromatografia de Troca Iônica”, em utilização integrada com o software “Cromatografia de Permeação em Gel”, foi realizada com 135 alunos do quarto semestre do curso de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, dos períodos diurno e noturno. A avaliação do software foi apresentada aos alunos como parte das atividades da disciplina “QBQ-216- Bioquímica Experimental”, cursada em conjunto com a disciplina "QBQ-215: Bioquímica: estrutura de biomoléculas e metabolismo". Os alunos, agrupados em trios, receberam a tarefa de responder a um questionário, tendo o software como única fonte de informação (além das informações contidas no questionário de avaliação, naturalmente) e tendo à sua disposição um microcomputador por grupo. A grande maioria dos grupos levou cerca de quatro horas para concluir a atividade.

b) Questionário de avaliação

Para atender tanto aos objetivos da avaliação integrada, quanto à função desempenhada pela atividade na disciplina QBQ-216, o questionário de avaliação utilizado apresenta diferenças em relação aos questionários mencionados nas seções 3.4 e 3.5. Em primeiro lugar, destaca-se a proposição de um problema geral, apresentando aos alunos uma amostra hipotética com histórico prévio de purificação. Em segundo lugar, merece atenção o fornecimento de dados na forma de cromatogramas, cuja função é compor um problema com o histórico da amostra.

O questionário encontra-se no Anexo B, sendo que suas questões estão transcritas individualmente nos momentos oportunos.

c) Avaliação da ergonomia

Assim, como no questionário utilizado nas avaliações discutidas nas seções 3.4 e 3.5, foi aplicado o princípio de se estabelecer uma escala semiquantitativa dividida nas categorias “Discordo fortemente”, “Discordo”, “Indeciso”, “Concordo” e “Concordo Fortemente”. A única diferença em relação entre esta e a mesma parte dos questionários das seções 3.4 e 3.5 é a presença do item F (“As questões propostas na atividade são de fácil execução”). Os resultados obtidos para avaliação da ergonomia estão apresentados a seguir.

TABELA 3.6-a: Distribuição de categorias para a questão 1:

1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações de A a E abaixo:
(DF: Discordo fortemente, D: Discordo, I: Indeciso / Indiferente, C: Concordo, CF: Concordo Fortemente).

A: As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização

B: Os desenhos e símbolos adotados são familiares e representativos

C: A sequência do software é adequada

D: As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.

E: A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.

Levando-se em conta os resultados referentes à presente seção, observa-se, nas distribuições dos itens A até E, grande ocorrência de categorias “Concordo” e “Concordo Fortemente”. Tais resultados indicam que o alunado se familiarizou com a interface gráfica do software durante a atividade, e foi capaz de acessar o seu conteúdo para resolver as questões propostas. Conclui-se, portanto, que são frutíferos os princípios aplicados na criação da estrutura de interatividade dos softwares “Cromatografia de Permeação em Gel” e “Cromatografia de Troca Iônica” (capítulo 2).

As diferenças no questionário de avaliação utilizado na presente avaliação, em relação aos questionários descritos nas seções 3.4 e 3.5, motivaram a introdução de um parâmetro para avaliar a dificuldade dos alunos ao respondê-lo. Para tanto, foi introduzido o item F na parte 1. A distribuição das escolhas em categorias para o item F está apresentada a seguir:

TABELA 3.6-b: Distribuição de categorias para o item F da questão 1:

O resultado acima mostra uma dispersão do grau de dificuldade apontado pelos alunos para a atividade, com equivalência de escolhas nas categorias “Discordo” e “Indeciso” (43% das escolhas) em relação àquelas nas categorias “Concordo” e

“Concordo Fortemente” (55% das escolhas). Este dado é respaldado pelo tempo longo que a grande maioria dos alunos levou para concluir a atividade (cerca de quatro horas), e pela freqüente solicitação de auxílio dos alunos aos docentes e monitores. Cabe ressaltar que os integrantes da equipe didática que participaram da atividade haviam sido instruídos previamente a não fornecer informações sobre os conteúdos presentes no software, restringindo sua atuação à orientação da atividade.

d) Avaliação dos parâmetros conceituais e cognitivos da eficiência instrucional do software

A avaliação dos parâmetros conceituais e cognitivos da eficiência do software "Cromatografia de Troca Iônica" se inicia a partir do perfil absoluto de respostas para cada uma das questões do questionário de avaliação dedicadas a este parâmetro. Assim como nos casos discutidos nas seções 3.4 e 3.5, estas questões podem ser classificadas quanto ao nível cognitivo em que solicitam o princípio de separação por diferença de carga:

i- nível de Compreensão: questões 1 (Q1), 2 (Q2), 3 (Q3), 6A (Q6A) e 6B (Q6B), transcritas a seguir:

Q1. Classifique as frações presentes no cromatograma 1 em ordem crescente de ponto isoelétrico.

Q2. Se utilizássemos uma coluna catiônica, qual seria a ordem de eluição das frações do cromatograma 1?

Q3. Quais das frações do cromatograma 1 originaram o cromatograma 2?

6. Qual das frações apresenta mais afinidade por uma coluna do tipo:

a) IEC aniônica: b) IEC catiônica c) GPC como a coluna 3:

ii- nível de Aplicação; questões 4 (Q4) e 7 (Q7):

Q4. Que tipo de eluição foi utilizada para obter o cromatograma 1? Esboce o cromatograma obtido se a fração que deu origem ao cromatograma 1 fosse analisada por cromatografia de troca iônica com eluição sequencial nas seguintes concentrações: 1) KCl 0.25M e 2) KCl 0.35M. Indique no cromatograma cada uma das eluições.

Q5. Para determinar as massas molares das frações, que tipo de cromatografia deve ser utilizada?

- a) GPC b) IEC c) Cromatografia de Afinidade d) outra

Q7. Esboce o cromatograma que seria obtido se a fração A4 (cromatograma 5) fosse analisada por cromatografia de permeação em gel com a coluna 2 ao invés da coluna 3.

A ocorrência de respostas corretas e incorretas para estes dois grupos de questões está apresentada a seguir:

Figura 3.6-1: ocorrência de respostas corretas e incorretas nas questões de Compreensão dos princípios físico-químicos da cromatografia de troca iônica

Figura 3.6-2: ocorrência de respostas corretas e incorretas nas questões de Aplicação dos princípios físico-químicos da cromatografia de troca iônica

Nos dois grupos de questões a ocorrência de respostas corretas é bastante elevada, havendo maior ocorrência de respostas corretas no grupo que solicita os princípios da técnica em nível de Compreensão. Esta tendência foi observada também nas avaliações descritas nas seções 3.4 e 3.5, porém, nesta avaliação, a ocorrência de respostas corretas nas questões de Aplicação é significativamente mais elevada.

Tal constatação é particularmente notável, uma vez que os princípios físico-químicos da cromatografia de troca iônica são mais complexos do que os da cromatografia de permeação em gel. Tais resultados demonstram a validade dos princípios empregados no desenvolvimento da estrutura de interatividade do software “Cromatografia de Troca Iônica” (capítulo 2). Demonstram também que a utilização conjunta de duas unidades de conteúdo, o que estimula a compreensão de dois

princípios físico-químicos distintos, em muito favorece a eficiência instrucional dos softwares.

Os resultados apresentados detectam ainda algumas sobreposições conceituais inerentes à cromatografia de troca iônica. O princípio desta técnica é a desestabilização do equilíbrio que envolve os pares iônicos formados entre os ligantes eletricamente carregados da coluna e os íons em solução. Os resultados sugerem que, de maneira geral os alunos compreenderam este princípio, ao menos operacionalmente, sendo capazes de relacioná-lo ao conceito prévio de que partículas de cargas opostas se atraem. Porém, no caso da cromatografia de troca iônica aplicada para a purificação de proteínas, há de se considerar a necessidade de estimar, ao menos qualitativamente, qual a carga líquida de uma proteína num dado pH, ponto de partida para aplicar o princípio da técnica e conceber a proteína como uma partícula carregada. Como a estimativa da carga líquida de uma proteína depende de seu ponto isoelétrico (pI) e do pH do meio em que se encontra, a compreensão do princípio físico-químico da cromatografia de troca iônica para a purificação de proteínas requer a aplicação dos conceitos de pI e de pH, o que foi detectado nos resultados apresentados.

Ainda que não sejam pronunciados, indícios desta sobreposição conceitual emergem dos perfis das ocorrências de Q1, Q2 e Q3, e Q6A e B. Em Q1, Q2 e Q3, há ocorrência de alternativas incorretas, ao passo que em Q6A e B não há tal ocorrência. Esta diferença ocorre, provavelmente, porque, em Q1, há referência explícita ao conceito de pI, e em Q2 e Q3, há solicitação deste e de outros conceitos adicionais.

Além de sobreposições conceituais, a compreensão dos princípios físico-químicos da cromatografia de troca iônica requer a habilidade de interpretar cromatogramas, de forma mais pronunciada do que a compreensão dos princípios físico-químicos da cromatografia de permeação em gel. Esta constatação se justifica no fato de haver pelo menos duas formas de eluição na cromatografia de troca iônica (eluição em etapas e com gradiente contínuo), além de uma etapa de carregamento da amostra na coluna.

As questões Q4 e Q7 solicitam explicitamente esta habilidade específica, combinando-a com a compreensão dos princípios físico-químicos da técnica. Q4 e Q7 são, portanto, questões de Aplicação. Embora na mesma categoria quanto ao nível cognitivo solicitado, é notável que ocorrência de respostas incorretas seja desprezível em Q7 e significativa em Q4.

O conjunto dos dados apresentados indica um quadro favorável para a eficiência instrucional do software. Porém, é necessária análise através do perfil de respostas associadas para verificar esta indicação.

Consideremos, em primeiro lugar, o perfil de respostas associadas para o grupo das questões dedicadas à compreensão dos princípios físico-químicos da técnica. Como é máxima a ocorrência de respostas corretas para Q6A e Q6B, faz sentido apenas associar as respostas de Q1, Q2 e Q3, apresentadas na tabela a seguir:

TABELA 3.6-c: Respostas associadas para Q1, Q2 e Q3

Q1	Q2	Q3
Corretas: 88%	Corretas: 86%	Corretas: 82%
		Incorretas: 4%
Incorretas: 12%	Incorretas: 2%	Corretas: 2%
	Corretas: 8%	Corretas: 4 %
	Incorretas: 4%	Corretas: 8%

Nos dados apresentados, destaca-se o mesmo padrão de ocorrências em todas as questões, ou seja, a alta ocorrência associada de respostas corretas.

Tal similaridade nos resultados é coerente com fato de que todas estas questões solicitam os princípios da técnica em nível cognitivo de Compreensão. Estes dados são, por assim dizer, coerentes com os objetivos das questões usadas em sua aquisição.

Dada esta coerência, o perfil de respostas associadas em Q1 e Q2 e Q3 pode ser usado como parâmetro comum na análise das relações entre o perfil de respostas do outro grupo de questões (Q4 e Q7). Sendo Q4 e Q7 questões que solicitam os princípios físico-químicos da técnica em nível de Aplicação, associar seus resultados aos de resultados associados de Q2, Q3 e Q4 é uma forma de estabelecer correlações entre os dois níveis cognitivos. Se partirmos do pressuposto de que a compreensão de um conceito é condição para sua aplicação, as relações entre os resultados de Q4 e Q7 e Q2, Q3 e Q4 fornece informações sobre a coerência destas questões e, portanto, da confiabilidade dos resultados.

Grosso modo, o perfil de respostas associadas para Q1 e Q2 e Q3 pode ainda ser usado ainda como referência para investigar as sobreposições conceituais levantadas anteriormente.

Em princípio, tanto Q4 quanto Q7, dedicadas a avaliar a aplicação dos princípios físico-químicos da técnica, podem ser analisadas tomando-se o perfil de respostas associadas de Q1, Q2 e Q3 como parâmetro. Porém, como a ocorrência de respostas corretas em Q7 é próxima de 100%, assim como no caso de Q6A e Q6B, a associação de Q7 com Q1, Q2 e Q3 pouco contribuirá para esta discussão, de modo que apenas as ocorrências de Q4 serão associada às de Q1 e Q2 e Q3.

Antes de prosseguir, deve ser considerado que Q4 é composta por duas seções distintas quanto ao nível cognitivo em que solicita os princípios físico-químicos da técnica:

Parte 1(Q4-1): classificada como de Compreensão, pois solicita apenas a identificação do tipo de eluição:

“Que tipo de eluição foi utilizada para obter o cromatograma 1?”.

Parte 2(Q4-2): classificada como de Aplicação, pois solicita a aplicação do princípio físico-químico da técnica na dedução de um cromatograma:

“Esboce o cromatograma obtido se a fração que deu origem ao cromatograma 1 fosse analisada por cromatografia de troca iônica com eluição sequencial nas seguintes concentrações: 1) KCl 0,25M e 2) KCl 0,35M. Indique no cromatograma cada uma das eluições”.

A correlação do perfil associado de respostas para Q1, Q2 e Q3 em função do perfil de respostas associadas de Q4 está apresentada na seguinte tabela:

TABELA 3.6-d: Respostas associadas para Q1, Q2 e Q3

Q4		Q1	Q2	Q3
Eluição (Q4-1)	Cromatograma (Q4-2)			
Corretas: 85%	Corretas: 58%	Corretas: 54%	Corretas: 52%	Corretas: 52%
			Incorretas: 2%	Corretas: 2%
		Incorretas: 4%	Corretas: 2%	Corretas: 2%
			Incorretas: 2%	Corretas: 2%
	Incorretas: 27%	Corretas: 25%	Corretas: 25%	Corretas: 23%
				Incorretas: 2%
Incorretas: 15%	Corretas: 4%	Corretas: 2%	Corretas: 2%	Corretas: 2%
		Incorretas: 2%	Corretas: 2%	Corretas: 2%
	Incorretas: 13%	Corretas: 9%	Corretas: 9%	Corretas: 7%
		Incorretas: 4%		Incorretas: 2%
			Corretas: 4%	Corretas: 4%

Na tabela 3.6-d identificam-se quatro grupos significativos dados, classificado segundo as ocorrências de respostas corretas e incorretas em Q4:

Grupo 1: respostas corretas para a identificação do tipo de eluição (Q4-1) e para o esboço do cromatograma (Q4-2);

Grupo 2: resposta correta para (Q4-1) e incorreta (Q4-2);

Grupo 3: resposta incorreta para (Q4-1) e correta (Q4-2);

Grupo 4: respostas incorretas para (Q4-1) e para (Q4-2).

Os dados da tabela 3.6-d podem ser depurados para facilitar a análise comparativa entre os grupos descritos. Será considerado, para cada grupo, o percentual das ocorrências que corresponde à ocorrência de respostas corretas em

Q1, Q2 e Q3. Por exemplo, o grupo 1 corresponde a 58% das respostas de Q4, sendo que neste grupo 52% estão associados à ocorrência de respostas corretas em Q1 e Q2 e Q3. Portanto, 90% (52 dos 58%) das ocorrências no grupo 1 correspondem a ocorrências de respostas corretas em Q1 e Q2 e Q3. A tabela abaixo apresenta este parâmetro calculado para todos os grupos:

TABELA 3.6-e: Respostas associadas para Q4 e (Q1e Q2 e Q3)

Q4 (aplicação)		% de ocorrências no grupo associadas à ocorrência de respostas corretas em Q1 e Q2 e Q3 (compreensão)
Eluição (Q4-1)	Cromatograma (Q4-2)	
Corretas: 85%	Corretas: 58% (grupo 1)	90%
	Incorretas: 27% (grupo 2)	85%
Incorretas: 15%	Corretas: 4% (grupo 3)	50%
	Incorretas: 11% (grupo 4)	60%

São pertinentes algumas considerações sobre os dados da tabela 3.6-f.

Em primeiro lugar, considera-se que a utilização do software contribuiu para a compreensão do princípio da técnica, uma vez que 85% é a ocorrência total de respostas corretas em Q4-1 (grupo1 + grupo 2). Os dados da tabela 3.6-e permitem ainda concluir que a ocorrência de respostas corretas em Q4-1 não é fruto do acaso, mas da compreensão dos princípios físico-químicos da técnica, o que se sustenta nos seguintes resultados:

- i- a grande maioria (58 dos 62%) das ocorrências de respostas corretas em Q4-2 (grupo-1) está associada às ocorrências de respostas corretas em Q4-1;
- ii- apenas cerca de 30 % (4 dos 15%) das ocorrências de respostas incorretas estão associadas a respostas corretas em Q4-2.

Os grupos 1 a 4 identificados acima reagrupam-se, por sua vez, em dois sub grupos, diferenciados quanto à habilidade cognitiva de Compreensão do princípio da técnica. Tomando o perfil de respostas associadas de Q1 e Q2 e Q3 como parâmetro, nota-se que nos grupos 1 e 2, a ocorrência de respostas corretas em Q1 e Q2 e Q3 tem aproximadamente o dobro do valor em relação àquela dos grupos 3 e 4, isto é, 85 a 90% contra 50 a 60%.

Novamente, salienta-se a coerência dos resultados, evidenciando-se que a ocorrência de respostas corretas em Q2 e Q3 e Q4 nos grupos 1 e 2, (associados à compreensão do princípio físico-químico da técnica) é significativamente maior.

e) Conclusões gerais

A eficiência instrucional do software "Cromatografia de Troca Iônica" é considerada satisfatória uma vez que os parâmetros obtidos a partir da avaliação indicam êxito na abordagem dos princípios físico-químicos da técnica em nível de Compreensão e, muito provavelmente, também de Aplicação. Ressalta-se também, a influência positiva da utilização conjunta de dois softwares na sua eficiência instrucional como parte de uma biblioteca de técnicas.

3.7 Estudo da utilização articulada dos softwares

As avaliações dos softwares produzidos, discutidas nas seções 3.4, 3.5 e 3.6, reúnem dados referentes à sua utilização por alunados diversos. O objetivo deste trabalho inclui a utilização dos softwares em diferentes propostas e estratégias de ensino de Bioquímica. Porém, conforme salientado inúmeras vezes, há uma proposta de utilização integrada dos softwares visando seu melhor aproveitamento.

Esta proposta norteia os estudos de avaliação apresentados, caracterizando-os como parte de um processo de avaliação global dos softwares produzidos. Tal qual definido no início deste capítulo, este processo é organizado em etapas segundo níveis de abrangência na utilização dos softwares:

- 1) avaliação da seção "Princípios"
- 2) avaliação integrada das seções "Princípios" e "Aplicações" de um software
- 3) avaliação integrada de dois softwares

Os três níveis de abrangência têm correspondência direta com a estrutura de organização de uma "Biblioteca de técnicas" (capítulo 2).

Nesta seção, dados apresentados nas seções 3.4, 3.5 e 3.6 serão compostos e discutidos em função da abrangência da utilização do software, em relação a sua estrutura de conteúdos.

Com os softwares "Cromatografia de Troca Iônica" (avaliado na seção 3.6), e o software "Cromatografia de Permeação em Gel" (avaliado nas seções 3.4 e 3.5), a "Biblioteca de técnicas", tal qual concebida no capítulo 2, possui o conteúdo mínimo (duas técnicas) para que seja discutida a influência da utilização integrada de duas unidades de conteúdo sobre a eficiência instrucional. Trata-se, portanto, de buscar

informações mais abrangentes sobre o funcionamento dos softwares, e suas relações com a eficiência instrucional.

Cabe, portanto, um estudo comparativo entre os resultados apresentados nas seções 3.4, 3.5 e 3.6.

Devemos considerar três limites distintos e progressivos quanto à abrangência da avaliação na estrutura de conteúdos dos softwares:

- 1) seção “Princípios” da unidade de conteúdo “Cromatografia de Permeação em Gel”;
- 2) seções “Princípios” e “Aplicações” da unidade de conteúdo “Cromatografia de Permeação em Gel”, isto é, a unidade completa;
- 3) unidades de conteúdo “Cromatografia de Permeação em Gel” e “Cromatografia de Troca Iônica”, isto é, duas unidades completas;

Assim como na aferição da eficiência instrucional de cada unidade de conteúdo, a eficiência instrucional da utilização integrada de duas unidades de conteúdo será aferida a partir da análise das ocorrências de respostas corretas e incorretas para questões de Compreensão e de Aplicação dos princípios físico-químicos da cromatografia de permeação em gel. O eixo da análise é, portanto, relacionar a articulação do conteúdo disponível no software com a sua eficiência instrucional, tomando como referência as habilidades cognitivas de Compreensão e Aplicação, avaliadas através de dados recolhidos no decorrer deste trabalho. Foram selecionados os dados obtidos com alunos do curso de Ciências Farmacêuticas da USP, das turmas diurno e noturno, das três seções deste capítulo, a saber: seção 3.4 (ano de 2000); seção 3.5 (ano de 2001); seção 3.6 (ano de 2002).

a) Averiguação da validade da comparação entre resultados obtidos com turmas distintas.

Para que a comparação dos resultados seja válida no contexto dos objetivos propostos, tais alunos devem ser considerados equivalentes em relação à habilidade de explorar o conteúdo do software, bem como em relação aos conhecimentos prévios que possuem. Com o objetivo de criar um parâmetro para verificar tal equivalência, os dados das seções 3.4 (2000), 3.5 (2001) e 3.6 (2002) referentes à parte 1 dos questionários de avaliação foram reunidos. Estes dados estão apresentados a seguir:

Figura 3.7-1: distribuição em categorias para o item A da avaliação de ergonomia em diferentes turmas de alunos do curso de Ciências Farmacêuticas

Figura 3.7-2: distribuição em categorias para o item B da avaliação de ergonomia em diferentes turmas de alunos do curso de Ciências Farmacêuticas

Figura 3.7-3: distribuição em categorias para o item C da avaliação de ergonomia em diferentes turmas de alunos do curso de Ciências Farmacêuticas

Figura 3.7-4: distribuição em categorias para o item D da avaliação de ergonomia em diferentes turmas de alunos do curso de Ciências Farmacêuticas

Figura 3.7-5: distribuição em categorias para o item F da avaliação de ergonomia em diferentes turmas de alunos do curso de Ciências Farmacêuticas

A apresentação conjunta dos dados obtidos com as diferentes turmas salienta a semelhança na ocorrência de categorias, ressaltando-se a elevada ocorrência das

categorias “Concordo” e “Concordo Fortemente”, o que fica ainda mais evidente se tomarmos sua somatória. Estes resultados são apresentados a seguir:

TABELA 3.7-a: Somatórias das Ocorrências "Concordo" e "Concordo Fortemente"

Item	Somatória das ocorrências das categorias “Concordo” e “Concordo Fortemente”, %		
	Seção 3.6	Seção 3.5	Seção 3.4
A: <i>As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização.</i>	90	80	100
B: <i>Os desenhos e símbolos adotados no software são familiares e representativos.</i>	98	100	98
C: <i>A sequência do software é adequada.</i>	86	80	83
D: <i>As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.</i>	60	70	69
E: <i>A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.</i>	89	70	69

Os resultados apresentados acima indicam que as turmas de alunos com as quais o software foi avaliado são muito próximas quanto à maneira como exploram a interface do software para extrair informação. Uma vez que são todos alunos do mesmo curso, cursando as mesmas disciplinas, muito provavelmente também se assemelham quanto aos conhecimentos prévios e o interesse sobre o conteúdo, tomado de uma forma geral.

Este pressuposto é fundamental para que possamos estudar a influência da utilização integrada de duas unidades de conteúdo sobre a eficiência instrucional do software.

b) Análise comparativa das questões de Compreensão

As questões dedicadas à compreensão dos princípios físico-químicos das técnicas, selecionadas para o estudo desta seção estão transcritas abaixo, com a indicação das seções em que foram utilizadas:

Q2(3.4 e 3.5). Que propriedade dos componentes da mistura determina sua separação na permeação em gel?

- a) carga elétrica b) massa molar c) ligação específica d) hidrofobicidade à fase estacionária.

Q5(3.6). Para determinar as massas molares das frações, que tipo de cromatografia deve ser utilizada?

- a) GPC b) IEC c) Cromatografia de Afinidade d) outra

Q6(3.6). Qual das frações apresenta mais afinidade por uma coluna do tipo:

- a) IEC aniônica b) IEC catiônica c) GPC como a coluna 3:

A ocorrência de respostas corretas e incorretas para cada uma das questões acima está apresentada no diagrama a seguir, destacando-se o período em que os dados foram obtidos e o nível de abrangência na estrutura do software a que correspondem:

Figura 3.7-6: Ocorrência de respostas corretas e incorretas em questões de Compreensão dos princípios das técnicas. Salientam-se os níveis de organização da estrutura do software e as seções das quais foram compilados os dados.

Os resultados apresentados são bastante eloquentes, sendo notável que a ocorrência de respostas corretas nas questões dedicadas ao nível de Compreensão dos princípios físico-químicos atinge o máximo aferível quando a utilização do software ocorre em níveis de abrangência iguais ou superiores a uma unidade de conteúdo completa.

Portanto, a utilização integrada de dois softwares, com duas unidades de conteúdo de uma "biblioteca de técnicas" configura eficiência instrucional em nível de Compreensão dos princípios físico-químico das técnicas. Trata-se de um forte indicador da utilidade do software como ferramenta para a maior parte dos cursos de graduação que apresentam a disciplina Bioquímica, nos quais, em geral, os princípios

físico-químicos dos métodos experimentais de bioquímica são solicitados em nível de Compreensão.

b) Análise comparativa das questões de Compreensão

Assim como no caso da análise das questões de Compreensão, foram selecionadas questões de aplicação dos princípios físico-químicos das técnicas cromatográficas, transcritas a seguir:

Q3(3.4 e 3.5). Qual dos perfis de eluição abaixo seria esperado para uma mistura de hemoglobina e azul de metileno se as esferas da fase estacionária (gel) fossem sólidas (sem poros)?

Q4(3.4 e 3.5). Qual dos perfis de eluição abaixo seria esperado para uma mistura de hemoglobina e azul de metileno se as esferas da fase estacionária (gel) fossem totalmente permeáveis?

Q6(3.5). A figura ao lado apresenta as curvas de constante de afinidade versus massa molar para duas colunas. Qual delas seria indicada para separar a mistura do exercício anterior?*

*Questão 5 do instrumento apresentado no relatório anterior, referente a uma mistura contendo proteínas de 50 kD e 145 kD

Q8(3.5). Um extrato celular foi purificado por cromatografia de permeação em gel. Obteve-se uma fração rica em proteína e deseja-se determinar sua massa molar. Dispõe-se da curva padrão apresentada ao lado. A respeito da curva padrão disponível, a alternativa correta é

- a) A curva é inadequada pois a fração possui massa molar maior que a dos padrões utilizados.
- b) A curva é inadequada pois a fração possui massa molar menor que a dos padrões utilizados.
- c) A curva é adequada.

Dados: Intervalo de fracionamento da coluna usada na obtenção da fração protéica: 25 kD a 70 kD.

Q8(3.6). Dispõe-se de dois conjuntos de padrões de massa molar para determinação de massa molar de proteínas por GPC. Dadas as curvas padrão correspondentes a cada conjunto (curvas 1 e 2), indique qual dos conjuntos é o mais indicado para determinar a massa molar das frações B1 a B5. Justifique sua resposta.

A ocorrência de respostas corretas e incorretas para cada uma das questões acima está apresentada no diagrama a seguir:

Figura 3.7-7: Ocorrência de respostas corretas e incorretas em questões de Compreensão dos princípios das técnicas. Salientam-se os níveis de organização da estrutura do software e as seções das quais foram compilados os dados.

É notável nos dados acima a tendência de aumento da ocorrência de respostas corretas na medida em que a utilização do software se torna mais abrangente. A utilização mais abrangente do software, envolvendo duas unidades de conteúdo, atinge o limite máximo de aferição do método de avaliação adotado (no caso, a questão Q8). A fim de explicitar essa tendência, os dados apresentados acima podem ser depurados na tabela a seguir:

TABELA 3.7-b: ocorrência média de respostas corretas às questões de Aplicação

seção	Abrangência na estrutura do software	Ocorrência média de respostas corretas às questões de Aplicação, %
3.6	unidade de conteúdo parcial: "Princípios"	60
3.5	unidade de conteúdo completa	70
3.4	Duas unidades de conteúdo integradas	97

Simetricamente, o percentual de respostas incorretas nas mesmas questões diminui com a abrangência da utilização do software, o que confirma a tendência apontada e confere grande coerência aos resultados, sobretudo se levarmos em conta que os mesmos foram obtidos em situações distintas.

c) Conclusões sobre a avaliação do software

A análise dos resultados apresentados nesta seção tem importantes desdobramentos, pois comprova as premissas fundamentais adotadas na concepção e execução dos softwares. Demonstram ainda que a eficiência instrucional dos softwares está diretamente relacionada à sua estrutura de organização. No caso, fica claro que a organização numa "biblioteca de técnicas" possibilita a utilização conjunta dos softwares como ferramenta de ensino das técnicas cromatográficas em nível de Compreensão e Aplicação dos seus princípios físico-químicos.

3.8 Utilização do software em aulas expositivas

Embora a proposta de utilização dos softwares apresentada neste trabalho privilegie a modalidade de ensino em pequenos grupos, é importante considerar as suas possibilidades de aplicação na modalidade de aula mais comum, a aula expositiva e suas variações, como a aula expositiva dialogada.

Assim, além dos demais estudos de avaliação discutidos neste capítulo, também foi averiguada a possibilidade de utilização do software em aulas expositivas. Esta averiguação não é um estudo tão detalhado quanto os estudos apresentados.

Seu objetivo é verificar a opinião da equipe didática de uma disciplina regular de graduação na qual o software seja utilizado como material didático.

Sendo assim, o software foi utilizado na disciplina QBQ220 - para alunos dos cursos noturno e diurno do curso de Biologia da USP, nos anos de 2000 e 2001.

Os softwares foram utilizados como material didático em aulas expositivas moderadas. O objetivo da equipe didática ao utilizar o software foi levantar questões para discussão, e depois respondê-las com o auxílio das animações disponíveis no software. O tempo disponível para atividade foi de quatro horas, nos dois anos considerados.

Alguns resultados obtidos com este tipo de averiguação são dignos de menção:

- i- os membros da equipe didática aprovaram o uso do software e mostram-se satisfeitos com os resultados obtidos;
- ii- desde que o software fora utilizado nos moldes descritos acima, a equipe didática tem solicitado sua utilização em todos os semestres em que a disciplina foi oferecida;

- iii- os membros da equipe didática que porventura foram transferidos para outras disciplinas continuaram solicitando a utilização dos softwares;
- iv- os membros da equipe didática reportaram boa aceitação da atividade por parte dos alunos, em todos os semestres nos quais os softwares foram utilizados.

Os resultados obtidos indicam que o uso dos softwares em aulas expositivas tem boa aceitação pelos docentes que deles façam uso.

Capítulo 4

Conclusões

As principais conclusões deste trabalho são as seguintes:

- 1) os princípios do ensino centrado no desenvolvimento de habilidades cognitivas contribuem para aumentar a capacidade de transformar informação em conhecimento;
- 2) tais princípios podem ser aplicados com êxito no desenvolvimento de softwares de ensino de Bioquímica, através de conteúdos digitais que prezem a interatividade, bem como da criação de interfaces de acesso à informação que possibilitem ao aluno refletir sobre a informação apresentada.
- 3) o software contribui para o aprendizado dos princípios físico-químicos das técnicas abordadas em nível de Compreensão e de Aplicação;
- 4) os estudos com alunos de diversas turmas indicam que suas diferenças, sobretudo quanto aos conceitos prévios de Química, não entravam o pleno usufruto do potencial instrucional dos softwares desenvolvidos.

Os estudos apresentados neste trabalho indicam ainda que a maior parte dos alunos mantém a mesma relação com o software que mantém com outras fontes de

informação, isto é, esperam obter respostas diretas para quaisquer indagações realizadas.

Embora seja uma ferramenta valiosa em práticas de ensino que visem capacitar o alunado a converter informação em conhecimento, isoladamente, o software não garante esta conversão. Nem poderia.

Os resultados apresentados neste trabalho se opõem à apologia digital e seus (mal) usos no ensino, mostrando que, isoladamente, a mera transposição de informações para o meio digital não agrega discernimento a quem as acessa.

Finalmente, embora as questões fundamentais do ensino não sejam técnicas, é fundamental estabelecer conhecimento para o pleno usufruto dos recursos tecnológicos disponíveis, sendo esta a principal contribuição deste trabalho.

FIM

Anexo A

Soluções Computacionais Desenvolvidas

A.1 Soluções computacionais para o software "Cromatografia de Troca Iônica"

Soluções Computacionais para o tópico "Laboratório Virtual"

1) Construção dos Cromatogramas

Os cromatogramas apresentados no Laboratório Virtual foram construídos a partir de curvas de Gauss. A equação usada para a obtenção de gaussianas com aspecto semelhante ao pico cromatográfico é a seguinte:

$$y = y_0 + Ae^{\left(\frac{-(x-x_c)^2}{2w^2}\right)} \quad (\text{eq. A-1})$$

y = absorvância do ponto

y_0 = linha base do cromatograma

A = absorvância no pico

x_c = volume de eluição no pico

W = largura a meia altura do pico

Construindo cromatogramas através de equações ao invés de desenhos, é possível vincular diretamente as escolhas do usuário à posição, forma e cor do pico, uma vez que A , w , y_0 e x_c são calculados em função do tipo de coluna e da ordem de eluição escolhidos pelo usuário.

2) Sincronização de Cores no Cromatograma e nos Tubos:

A cor dos tubos e dos pontos é vinculada também a uma curva de Gauss, sendo calculada em cada ponto uma cor correspondente à quantidade de amostra. Para tanto, os parâmetros A e y0 foram adaptados à escala numérica do sistema de cor RGB (Red, Green, Blue). Os parâmetros w e xc são mantidos para que o máximo de cor e suas nuances com a linha base coincidam com a posição do pico. Com o sistema RGB obtém-se até 16 milhões de cores diferentes, combinando as cores vermelho, azul e verde, numa escala entre 0 e 255, para cada cor. A tabela A-a abaixo apresenta as cores dos picos em RGB, e os parâmetros A e y0 correspondentes:

TABELA A1-a: valores de cor em escala RGB para as amostras presentes no tópico "Laboratório Virtual"

Componente	Cor	Valores em RGB		Parâmetros	
		pico	linha base	A	y0
Proteína A		R:255	R:255	Não varia	Não varia
		G: 0	G: 255	-255	0
		B: 0	B: 255	-255	0
Proteína B		R:0	R:255	-255	0
		G: 0	G: 255	-255	0
		B: 255	B: 255	Não varia	Não varia
Mistura		R:255	R:255	-255	0
		G: 0	G: 255	-255	0
		B: 255	B: 255	-255	0

Para colorir o tubo e o ponto, a cor em RGB foi convertida em base hexadecimal.

Soluções Computacionais para o tópico "Modelo Microscópico"

1) Construção da coluna cromatográfica

Para possibilitar a simulação visual de uma coluna com sítios de ligação ativos foi necessária a criação de estrutura de dados numéricos para descrever e armazenar os seguintes parâmetros: número de esferas de gel (nbead), raio de um bead (rbead), posição do centro do bead (xc e yc), número de sítios no bead (nsítios). Cada sítio de ligação da esfera deve, por sua vez, armazenar os seguintes parâmetros: carga (cgsítio), ocupação (ocupa) e posição (xsítio, ysítio). Os nomes em parênteses correspondem às variáveis que armazenam os parâmetros. Como exemplo, apresentamos abaixo a representação numérica e sua correspondente geométrica para o caso mais simples: uma coluna formada por uma esfera de gel com apenas um sítio de ligação:

TABELA A1-b: Estrutura computacional da coluna de troca iônica

Representação Numérica				Representação Geométrica
Bead 1	rbead=35
	xc= 100			
	yc= 150			
	nsítios = 5	Sítio 1	cgsítio= "positiva" ocupa= "vazio" xsítio= 130 ysítio= 180	

Uma vez criada a estrutura de dados que compõe uma coluna, a cada esfera de gel e a cada sítio é atribuída uma imagem, para que a coluna seja visível. Todos os

parâmetros estão pré-estabelecidos, e são ativados quando o usuário aciona o botão montar coluna.

2) Movimento de partículas na tela

Para simular o movimento de partículas na tela foi implementado um algoritmo baseado no movimento Browniano, cujos parâmetros são descritos na figura a seguir:

x_i, y_i : coordenadas iniciais

x_f, y_f : coordenadas finais

d : distância entre posições, varia entre 0 e um valor máximo.

θ : direção do deslocamento, varia aleatoriamente entre 0 e 2π .

Porém, no movimento Browniano típico, após certo tempo, o deslocamento total é nulo ou desprezível, como no exemplo da figura ao lado.

Como numa eluição há o fluxo do eluente, ao movimento Browniano foi introduzido um decréscimo na posição vertical da partícula (y_{fluxo}), o que equivale a uma soma vetorial sobre a trajetória, mostrada na figura ao lado.

Assim, as coordenadas de cada passo das partículas que são vistas na animação são calculadas da seguinte forma:

cálculo de um ângulo θ aleatório, entre 0 e 2π .

cálculo de uma distância aleatória d entre 0 e o passo máximo

cálculo das coordenadas finais, através de trigonometria simples:

$$x_f = x_i + d \sin(\theta) \text{ e } y_f = y_i + d \cos(\theta) - y_{\text{fluxo}} \quad (\text{eq. A-2})$$

3) Detecção de Colisão

Uma vez estabelecido o algoritmo para o movimento da partícula, e uma estrutura de dados para a criação da coluna, foi implementado o algoritmo de colisão. Tal algoritmo deve discriminar as regiões que são sítios de ligação, verificar se há ocupação e deslocar o ocupante do sítio se este for o caso. Estas tarefas devem ser feitas sempre que cada partícula executar um movimento, o que foi implementado através de uma sequência de verificações incorporada ao cálculo das coordenadas finais:

Sequência de verificação de colisão com a coluna

Verificação: a partícula colidiu com o bead?	
Não Continuar movimento	Sim Verificação: a partícula colidiu com um sítio?
Não Rebater	Sim Verificação: O sítio está vago?
Não Verificação: É possível deslocar o ocupante?	Sim Ocupar
Não, Rebater	Sim 1: Ocupar; 2: Sinalizar ao ocupante para iniciar movimento

As soluções empregadas para implementar cada uma das verificações e ações desencadeadas estão esclarecidas a seguir:

a) Verificação de colisão da partícula com o "bead": verifica se a área da partícula se sobrepõe a área do "bead". Para tanto, a partícula é tratada como uma elipse (figura ao lado). Em seguida, projeta-se um ponto no perímetro da elipse na dire

ção do centro do bead. Se a distância deste ponto ao centro do "bead" for menor do que o raio do bead, há colisão.

b) Verificação de colisão da partícula com um sítio: o mesmo método usado para a colisão com o bead é adotado, porém, verifica-se se as coordenadas do sítio ($x_{sítio}$, $y_{sítio}$) estão contidas na elipse.

c) Verificação da ocupação do sítio e deslocamento de ocupante: a variável "ocupa" (estrutura de dados da coluna) armazena um número que identifica o ocupante do sítio. Cada tipo de partícula possui um número de deslocamento que, na colisão com um sítio, é comparado com a variável "ocupa" do sítio. Se o número de deslocamento da partícula for maior, a partícula ocupa o sítio, deslocando o ocupante do sítio, senão, executa a ação "rebater".

d) Rebater: Quando há colisão com uma região do bead onde não há um sítio de ligação, ou este não pode ser ocupado, a partícula deve rebater, o que corresponde às seguintes operações:

- 1- No caso de colisão com o bead, as coordenadas do ponto de colisão (P1) da partícula são projetadas na superfície do bead (P2).
- 2- A partícula se movimenta até P2.
- 3- A direção e sentido da partícula são definidos a partir da tangente ao bead em P2, segundo o ângulo aleatório θ , calculado sobre intervalo de 180° definido pela tangente.

Soluções Computacionais para o tópico "Eluição com Gradiente Contínuo"

1) Criação de uma Amostra Virtual

A amostra virtual utilizada no simulador é na verdade uma lista de 3 objetos do tipo “proteína”. Tais objetos foram criados especialmente para este fim, e possuem três parâmetros fundamentais: massa (variável m), ponto isoelétrico (variável p_i) e nome (variável id). Estes são os parâmetros pré-estabelecidos do simulador, os quais o usuário não pode modificar. Os demais parâmetros usados na simulação são escolhidos pelo usuário: pH , KCl_i e KCl_f . Os objetos da amostra virtual e seus parâmetros estão listados abaixo:

TABELA A1-c: propriedades dos protótipos do objeto "proteína"

objeto	id	pi	m
Proteína A	"A"	5	0.6
Proteína B	"B"	6	0.2
Proteína C	"C"	7	0.5

O valor de "id" é o conteúdo da legenda que surge ao lado do pico correspondente, o valor de "pi" é o ponto isoelétrico de cada proteína e o valor de "m" é proporcional à área sob os picos, sendo, portanto, um parâmetro relacionado à quantidade de cada proteína.

2) Construção de Cromatogramas e Curvas de Gradiente de Eluição

Os cromatogramas são obtidos a partir da somatória dos valores calculados em três curvas de Gauss com parâmetros diferentes, calculados segundo as equações abaixo:

$$y = y_0 + Ae^{\left(\frac{-(x-x_c)^2}{2w^2}\right)} \quad (\text{eq. A-3})$$

$$x_c = \frac{(\Delta pH - 5a)}{5\partial KCl} \quad (\text{eq. A-4})$$

$$y_0 = 0 \quad (\text{eq. A-5})$$

$$w = \frac{w_{\max}}{\frac{\partial KCl}{\Delta pH} \left(\frac{1}{w_{\min}} - \frac{1}{w_{\max}} \right) + 1} \quad (\text{eq. A-6})$$

$$A = m/w \quad (\text{eq. A-7})$$

As equações A3 a A7 foram derivadas a partir de equações empíricas da cromatografia, adaptadas para a representação visual dos cromatogramas na tela (Pharmacia Amersham, 2001; Roe, 1995).

Os termos utilizados nas equações acima estão explicados a seguir:

ΔpH : é o módulo da diferença entre o pH escolhido pelo usuário e o pI do componente da amostra:

$$\Delta pH = |pH - pI| \quad (\text{eq. A-8})$$

α : coeficiente linear da variação da concentração de KCl no gradiente.

∂KCl : valor absoluto do coeficiente angular do gradiente de KCl.

w_{min} e w_{max} : valores arbitrários estabelecidos para a largura máxima e mínima de um pico, de modo a obter resultados visuais mais adequados.

m / w : é a razão entre o valor de m do objeto proteína e a largura do pico. Esta relação define a altura máxima do pico, assumindo-se que a quantidade de amostra é proporcional à área do pico, e que este pode ser considerado um triângulo isósceles:

$$m \approx Aw$$

(eq. A-9)

Uma vez estabelecidos os parâmetros para a construção da curva de cada amostra, o cromatograma é obtido como a somatória pontual dos valores y calculados para cada curva.

Desta forma, é possível obter sobreposições e separações de picos em função de quaisquer valores fornecidos pelo usuário, dentro do intervalo permitido.

As curvas de gradiente de KCl são obtidas com uma equação comum para uma função retilínea:

$$[KCl] = a + (\partial KCl)V \quad (\text{eq. A-10}),$$

onde:

V é o volume de eluição em valores arbitrários de pixels (1 pixel equivale a um ponto na tela do computador).

a e ∂KCl são os coeficientes linear e angular, respectivamente, calculados a partir dos valores inicial (KCl_i) e final (KCl_f) da concentração de KCl, fornecidos pelo usuário:

$$a = \frac{KCl_f V_i - KCl_i V_f}{V_i - V_f} \quad (\text{eq.-A11})$$

$$\partial KCl = \frac{KCl_f - KCl_i}{V_f - V_i} \quad (\text{eq. A-12})$$

3) Criação e Controle da Lista de Experiências

O que torna possível controlar a exibição de curvas através da lista de experiências é a organização dos dados gerados pelas equações da seção anterior. Os valores das abscissas e ordenadas do cromatograma e do gradiente correspondente são armazenados como parâmetros de um objeto denominado “gráfico”. O objeto “gráfico” foi criado para organizar os dados referentes à visualização das curvas. Os

processos de geração, visibilidade, e descarte de curvas são aplicados sobre o objeto “gráfico”, que se configura, portanto, como um manipulador de dados.

Além das coordenadas das curvas, o objeto “gráfico” reúne os seguintes parâmetros:

visibilidade: parâmetro que assume valor 0 (invisível) ou 1 (visível).

série: parâmetro que armazena um valor de cor da curva. As cores das curvas são obtidas vinculando-se valores da escala RGB aos parâmetros pH, KCl_i e KCl_f, e convertendo estes valores para base hexadecimal.

A.2 Soluções computacionais para o software "Cromatografia de Troca Iônica"

Soluções Computacionais envolvidas na seção “Princípios”

A principal solução computacional desenvolvida para a seção foi o movimento das partículas na tela de eventos microscópicos da etapa de separação cromatográfica. Devido à complexidade gráfica das partículas que se movimentam na animação que representa os fenômenos microscópicos na coluna de afinidade, não foi possível implementar o mesmo tipo de movimento adotado no modelo microscópico da cromatografia de troca iônica, o que requer grande quantidade de memória RAM (Random Access Memory – o componente no microcomputador mais requisitado para executar as animações) para que elementos gráficos mais complexos representando diversas proteínas se movimentem simultaneamente.

A solução encontrada foi estabelecer um tipo de movimento guiado, através do qual as partículas deslocam-se em direção a um ponto. Com isto, evita-se a verificação de colisão a cada movimento da partícula, viabilizando tecnicamente a

animação. Para que o movimento assumisse uma trajetória mais próxima do real, foi desenvolvido um algoritmo próprio para que a partícula não adotasse a trajetória retilínea, preservando características difusionais. Tal algoritmo é descrito a seguir:

Anexo B

Questionários utilizados na avaliação do software

B.1 Avaliação da seções "Introdução" e "Princípios" do software

"Cromatografia de Permeação em Gel"

1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto as afirmações de A até E abaixo:

*DF: discordo fortemente; D: discordo; I: indeciso ou indiferente;
C: concordo; CF: concordo fortemente*

	<i>Afirmações</i>	DF	D	I	C	CF
A	<i>As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização.</i>					
B	<i>Os desenhos e símbolos adotados no software são familiares e representativos.</i>					
C	<i>A sequência do software é adequada.</i>					
D	<i>As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.</i>					
E	<i>A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.</i>					

2. Que propriedade dos componentes da mistura determina sua separação na permeação em gel?

- a) carga elétrica.
- b) massa molar (tamanho da partícula).
- c) ligação específica à fase estacionária.
- d) hidrofobicidade.

3. Qual dos perfis de eluição abaixo seria esperado para uma mistura de hemoglobina e azul de metileno se as esferas da fase estacionária (gel) fossem sólidas (sem poros)?

4. Qual dos perfis de eluição abaixo seria esperado para uma mistura de hemoglobina e azul de metileno se as esferas da fase estacionária (gel) fossem totalmente permeáveis?

5. Caso queira manifestar qualquer opinião sobre a utilização do software, utilize o espaço abaixo: (os alunos dispunham de 20 linhas para comentários)

B.2 Avaliação da seção "Aplicações" do software "Cromatografia de Permeação em Gel"

Foi utilizado o questionário de avaliação da seção "Princípios" (Anexo B1), acrescido de 4 questões apresentadas a seguir:

5. Qual das colunas abaixo é mais adequada para a separação de uma mistura de duas proteínas, sendo uma delas com massa molar 50 kD e outra com massa molar 145 kD ?

a)						
b)						
c)						
d)						
	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
	Massa Molar, D					

6. A figura ao lado apresenta as curvas de constante de afinidade versus massa molar para duas colunas. Qual delas seria indicada para separar a mistura do exercício anterior?

7. Um laboratório dispõe de 2 conjuntos de padrões de massa molar. Qual dos conjuntos seria mais apropriado para determinar a massa molar de uma proteína de massa molar entre 1 e 10 kD?

Conjunto A		Conjunto B	
padrão	Massa molar, kD	padrão	Massa molar, kD
1	25	6	1.5
2	50	7	2.6
3	120	8	8.4
4	160	9	10.3

Continua na página seguinte.

Continuação, Anexo B2:

8. Um extrato celular foi purificado por cromatografia de permeação em gel. Obteve-se uma fração rica em proteína e deseja-se determinar sua massa molar. Dispõe-se da curva padrão apresentada ao lado. A respeito da curva padrão disponível, a alternativa correta é

- a) A curva é inadequada pois a fração possui massa molar maior que a dos padrões utilizados.
- b) A curva é inadequada pois a fração possui massa molar menor que a dos padrões utilizados.
- c) A curva é adequada.

Dados: Intervalo de fracionamento da coluna usada na obtenção da fração protéica: 25k D a 70k D

$$\log 10000 = 4 \quad \log 100 = 2$$

B.3 Avaliação Integrada dos softwares "Cromatografia de Permeação em Gel" e "Cromatografia de Troca Iônica"

O problema: Um extrato biológico foi previamente fracionado por precipitação com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Uma das frações foi purificada por análise cromatográfica. Primeiro, a fração foi submetida à análise por cromatografia de troca iônica, obtendo-se as frações A1 a A5. Em seguida, cada uma das frações recolhidas na análise cromatográfica por troca iônica (frações A), foi submetida à análise por cromatografia de permeação em gel, obtendo-se as frações B1 a B5. Tendo em mãos os cromatogramas obtidos nas análises e os dados sobre as colunas de GPC, responda às questões propostas utilizando o software como fonte de informação.

Continua na página seguinte

Continuação, Anexo B3:**Questões**

1. Classifique as frações presentes no **cromatograma 1** em ordem crescente de ponto isoelétrico.
2. Se utilizássemos uma coluna catiônica, qual seria a ordem de eluição das frações do **cromatograma 1**?
3. Quais das frações do **cromatograma 1** originaram o **cromatograma 2**?
4. Que tipo de eluição foi utilizada para obter o **cromatograma 1**? Esboce o **cromatograma** obtido se a fração que deu origem ao **cromatograma 1** fosse analisada por cromatografia de troca iônica com eluição seqüencial nas seguintes concentrações: 1) KCl 0.25M e 2) KCl 0.35M. Indique no **cromatograma** cada uma das eluições.
5. Para determinar as massas molares das frações, que tipo de cromatografia deve ser utilizada?
a) GPC b) IEC c) Cromatografia de Afinidade d) outra
6. Qual das frações apresenta mais afinidade por uma coluna do tipo:
a) IEC aniônica: b) IEC catiônica c) GPC como a coluna 3:
7. Esboce o **cromatograma** que seria obtido se a fração **A4 (cromatograma 5)** fosse analisada por cromatografia de permeação em gel com a **coluna 2** ao invés da **coluna 3**.
8. Dispõe-se de dois conjuntos de padrões de massa molar para determinação de massa molar de proteínas por GPC. Dadas as curvas padrão correspondentes a cada conjunto (curvas 1 e 2 na página anterior), indique qual dos conjuntos é o mais indicado para determinar a massa molar das frações B1 a B5. Justifique sua resposta.

Avaliação da Ergonomia do Software

1. Assinale a alternativa que mais se aproxima do seu julgamento quanto às afirmações A até E abaixo:

DF: discordo **D:** discordo **I:** indeciso ou **C:** concordo **CF:** concordo
fortemente indiferente fortemente

	Afirmações	DF	D	I	C	CF
A	As instruções disponíveis no software são suficientes para sua fácil utilização.					
B	Os desenhos e símbolos adotados no software são familiares e representativos.					
C	A seqüência do software é adequada.					
D	As informações constantes do software são suficientes para a compreensão do processo descrito.					
E	A utilização prévia do software facilita a execução desta técnica no laboratório.					
F	As questões propostas na atividade são difíceis.					

5. Caso queira manifestar qualquer opinião sobre a utilização do software, utilize o espaço abaixo:

Referências Bibliográficas

- ANGAL, S. & DEAN, P. D. G. In: HARRIS, L. V. & ANGA, L. S. **Protein Purification Methods**, Oxford: IRL Press, 1995. p. 245.
- BLOOM, B. S., ENGELHART, M. D., FURST E. J., Hill W. H., KRATHWOHL, D. R., **Taxonomy of Educational Objectives - The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain**. David McKay Company, New York, 1956.
- BRAITHWAITE, A. & SMITH, F. J. **Chromatographic Methods**. London: Chapman & Hall, 5a ed., 1996. p. 156-159.
- CEO Forum, **The CEO Forum on Education and Technology Report: School Technology and Readiness**. Washington: editora não disponível, 2001.
- EISENBERG M. B. & JOHNSON, D. Learning and Teaching Information Technology: Computer Skills in Context. **ERIC Digest**. September, p. 1-2, 2002.
- GALEMBECK, E. **Desenvolvimento de Softwares para o Ensino de Bioquímica**. Tese de Doutorado. Departamento de Bioquímica, Instituto de Biologia, Unicamp, Campinas. 1999.
- GALEMBECK, E.; KUBO, R.T.; MACEDO, D.V. & TORRES, B.B. Oxygen Consumption by Isolated Mitochondria: A Software for Planning and Interpreting Experiments. **Biochemical Education**, 26, v. 1, 1998, p.41-43.

- KASOWITZ-SCHEER & PASQUALONI. Information Literacy Instruction in Higher Education: Trends and Issues. **ERIC Digest**. June, p. 1-2, 2002.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Arch. Psychol.** v. 140, p. 5-55, 1932.
- MOHR, P. & POMMERENING, K. **Affinity Chromatography**. New York: Marcel Dekker, 1986. p.101-113.
- NINOMIYA, H. & INOMATA, T. Current uses of laboratory animals in Japan and alternative methods in research, testing and education. **Applied Animal Behavior Science**. v. 59, n.219, p.2215, 1998.
- NOAM, E.M. Electronics and the Dim Future of the University. **Science**. v. 270, p.247-249, 1995.
- PHARMACIA AMERSHAM. **Ion Exchange Chromatography: Principles and Methods**. Uppsala: Rhams I Lund. 1999.
- PHARMACIA BIOTECH. **Affinity Chromatography: Principles and Methods**. Uppsala Rhams I Lund: 1998.
- PHARMACIA. **Gel Filtration: Principles and Methods**. Uppsala: Rhams I Lund , 5th ed., 1991.
- PITAC, **Report to the President: Using Information Technology To Transform The Way We Learn**. 2001.
- ROE, S. Ion Exchange chromatography. In: HARRIS, L. V. & ANGA, L. S. **Protein Purification Methods**, Oxford: IRL Press, 1995, p. 200-237.
- UNESCO, **Educational World Forum: Final Report**, Graphoprint, Paris, 2000, 83 p.
- UNESCO, **World Conference on Higher Education- Higher Education in the Twenty-first Century: Final Report vol. I** .Paris, 1998, 136 p.

UNESCO-ILO, **Technical and Vocational Education and Training for the Twenty-**

first Century, UNESCO-ILO, Paris, Geneve, 2002 68p.

VALENTE, J.A., Análise dos Diferentes Tipos de Software Usados na Educação. In:

VALENTE, J.A. (org.). **O Computador na Sociedade do Conhecimento.**

Campinas (SP): Unicamp/NIED, 1999.

YOKAICHIYA, D.K., GALEMBECK, E. & TORRES, B.B. Radicais Livres de

Oxigênio: Um Software Introductório. **Química Nova**, v. 23 n. 2, 2000, p. 267-

269.

Referências Bibliográficas Complementares

ATKINS, P.W. **Physical Chemistry**. New York: Oxford University Press, 6^a ed. 1998.

CELIS, J.E. (EDITOR) **Cell Biology**:A Laboratory Handbook. New York: Academic

Press, 2^a ed., 1998, v. 4.

ECKEL, B., **Thinking in Java**, New Jersey: Prentice Hall, 1998.

MAGILL, J. M. **Problem solving in biochemistry**: a practical approach. London:

Collier Macmillan, 1988.

VOET, D. & VOET, J. **Fundamentals of Biochemistry**, New York : Wiley, 1999.

WALKER, J. M. (EDITOR). **The Protein Protocols Handbook**, New Jersey:

Humana Press, 1996.