

PROCESSOS DE ADSORÇÃO EM BIOMASSA COMO FERRAMENTA PARA ENSINO DE ANÁLISE INSTRUMENTAL EM CURSOS DE ENGENHARIA

Mateus Vinícius Casagrande da Silva – mateus_vcs@alunos.eel.usp.br.

Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo.

Estrada Municipal do Campinho, s/nº.

12602-810 – Lorena – São Paulo.

Ângelo Capri Neto – capri@demar.eel.usp.br

Maria da Rosa Capri – mariarosa@dequi.eel.usp.br

Resumo: Neste trabalho é apresentada uma metodologia multidisciplinar para o ensino-aprendizagem da técnica de análise química por espectrometria UV-VIS em cursos de engenharia. A metodologia é baseada na aprendizagem por solução de problemas e consiste na otimização de um processo de adsorção de cobre por bagaço de cana-de-açúcar, que fornece amostras reais nas quais as concentrações de cobre precisam ser determinadas, fornecendo informações essenciais para a otimização do processo de adsorção. As semelhanças e diferenças entre amostras ideais e reais são demonstradas e discutidas. Os alunos deverão trabalhar em equipe, utilizando conceitos de operações unitárias, planejamento de experimentos, química analítica, biomassa e meio ambiente. A metodologia propicia a integração entre estes temas, motivar os alunos, reforçar o conteúdo programático e demonstrar que habilidades e competências adquiridas ao longo do curso são somativas, interdependentes e fundamentais para a compreensão, controle e otimização de processos industriais.

Palavras-chave: Adsorção, Bagaço de cana-de-açúcar, Análise Instrumental, Espectrofotometria UV/Vis, Interdisciplinaridade.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de análise química são ferramentas poderosas usadas na indústria para a avaliação da matéria prima, acompanhamento de processo e produtos intermediários e finais. Neste contexto, o engenheiro deve ser capaz de escolher, aplicar, avaliar a técnica ou metodologia mais adequada e ser capaz de interpretar os resultados das análises químicas. A Análise Instrumental é uma disciplina importante dos cursos de engenharia ligados à química, pois nela são mostradas as principais técnicas analíticas, incluindo a preparação de amostras.

Nas aulas experimentais, para ensinar uma determinada técnica analítica ou um tópico específico dentro de uma técnica, normalmente são utilizadas amostras ideais porque elas nos permitem explicar adequadamente os fenômenos físicos e químicos envolvidos, além do funcionamento da instrumentação analítica. Ao final do curso o aluno deve ser capaz de usar o conhecimento obtido para escolher a técnica apropriada para aplicar às situações reais, ou

seja, para aquelas amostras provenientes dos processos utilizados na indústria. No entanto, quando são utilizadas amostras reais algumas interferências exigem que etapas sucessivas de correções e otimizações sejam aplicadas para tornar o método adequado àquela necessidade. Nesse processo, nem sempre fica evidente para o engenheiro que não é especialista na área de análise química que pode haver diferenças entre as amostras reais e as amostras didáticas ideais com as quais ele trabalhou na escola e que algumas decisões importantes devem ser tomadas neste caso.

Segundo Philippe Perrenoud (PERRENOUD, 2013), não basta ter conhecimento ou capacidade para ter competência, é necessário saber o momento adequado de aplicar o conhecimento. Portanto, é oportuno que ele se depare com alguns problemas reais antes de concluir o seu curso e não somente após sair da escola. Com isso ele vai desenvolver a habilidade de solucionar problemas ainda na universidade.

Estratégias de ensino que procurem envolver problemas de análises reais e tópicos relacionados a outras disciplinas que necessitem dos resultados das análises na tomada de decisões favorecerão o processo ensino-aprendizagem, tornando as aulas mais estimulantes uma vez que mostra a análise química instrumental como uma ferramenta básica no desenvolvimento de processo e avaliação de produtos finais. A interdisciplinaridade pode ser amplamente explorada neste contexto.

1.1. O engenheiro e a química analítica

É importante que o estudante de engenharia entenda que a química analítica é uma ferramenta fundamental para a compreensão, controle e otimização de processos industriais. Estas etapas têm que ser precedidas pelo desenvolvimento e testes de métodos de análise química que possam fornecer respostas rápidas e confiáveis que irão suportar as decisões relacionadas aos processos industriais.

Embora os alunos dos cursos de engenharia entendam e assimilem estes conceitos, normalmente eles consideram a análise química um problema que deve ser tratado e resolvido pelos químicos e não pelos engenheiros, de modo que para eles essa disciplina passa a ser um simples degrau na sua escalada para obter o diploma, sem uma conexão clara com a sua futura atividade profissional. A realidade do mercado, por outro lado, mostra que os laboratórios das indústrias são frequentemente gerenciados por engenheiros, que assumem as responsabilidades do desenvolvimento, testes e aplicação de métodos analíticos. Mesmo nos casos em que existe um químico dirigindo o laboratório, o engenheiro responsável pelo desenvolvimento e controle de processos industriais precisa do suporte analítico para basear as suas decisões, o que implica na necessidade de entendimento e troca de informações com o responsável pelo laboratório. Esse diálogo pode ser tão ou mais complicado que o gerenciamento do laboratório caso o engenheiro desconheça completamente as técnicas analíticas, suas potencialidades e limitações. É importante salientar que os cursos de engenharia possuem no seu programa disciplinas relacionadas à química analítica, porém os cursos de química não contemplam disciplinas relacionadas à engenharia, de modo que o entendimento entre os dois profissionais depende muito mais da correta formação dos engenheiros. Explicar e convencer o futuro engenheiro desses fatos é, portanto, uma função dos cursos de engenharia e, mais especificamente, das disciplinas relacionadas à química analítica constantes na grade curricular.

Especificamente na disciplina Análise Instrumental, existem três formas de explorar o tema: a primeira é por meio do estudo de casos, levantados em artigos relacionados ao desenvolvimento de processos industriais, que sejam suportados por resultados de análises químicas. Nesse caso o aluno teria que aprender a partir do estudo de textos contendo conceitos, ideias, métodos e equipamentos que ele provavelmente nunca viu e não teria como

confrontar a parte teórica com a prática. Obviamente isso exige do estudante uma grande dose de imaginação e uma grande força interior para se manter suficientemente motivado e assimilar os conceitos necessários à sua formação. Essa abordagem, portanto, só deve ser adotada em casos específicos e pontuais, onde não existe a possibilidade do uso do estudo por experimentação, mais adequado neste caso.

A segunda forma é colaborativa, interdisciplinar, em que os professores de outras disciplinas tratassem conjuntamente um tema no qual seus alunos preparassem as amostras relativas a processos industriais e os alunos de química instrumental fizessem as análises. Os resultados seriam discutidos entre as turmas para as tomadas de decisões e adequação ou otimização dos respectivos processos. Essa seria a situação ideal sob vários aspectos, pois envolveria a interdisciplinaridade, trabalho em equipe, negociação entre as equipes participantes em relação a prazos e resultados, desenvolvimento paralelo e interdependente entre os procedimentos analítico e industrial, entre outros. A sua implantação, entretanto, exige uma interação e planejamento muito grande e bem feito por parte do corpo docente e técnico envolvido, incluindo disponibilidade de laboratórios e equipamentos em número suficiente para atender em tempo hábil a várias turmas das duas (ou mais) disciplinas envolvidas.

Uma terceira alternativa seria os alunos da disciplina Análise Instrumental desenvolverem um experimento envolvendo processos relacionados a um ou mais tópicos de engenharia como atividade experimental da disciplina, onde parte fundamental para as tomadas de decisões sejam os resultados obtidos por meio de análises químicas de amostras obtidas no processo. Nesse contexto, os conceitos, habilidades e competências necessárias para a solução de problemas abordados na forma colaborativa poderiam ser atingidos sem as complicações logísticas decorrentes da necessidade de adequar o conteúdo programático e as metodologias didáticas de várias disciplinas e turmas. Os resultados obtidos não seriam exatamente os mesmos nos dois casos, mas certamente seria um avanço considerável em relação à situação atual, onde as disciplinas funcionam como espaços de aprendizagem fechados e estanques, voltadas quase que exclusivamente para os tópicos relacionados nas respectivas ementas. O objetivo deste trabalho foi utilizar um experimento envolvendo o fenômeno de adsorção, que é um tópico abordado na disciplina Operações Unitárias (obrigatória nos cursos de engenharia química), como fonte de amostras reais para serem utilizadas na aprendizagem de técnicas de análises na disciplina Análise Instrumental. Um experimento didático que explore esses conceitos e práticas pedagógicas foi desenvolvido e é apresentado a seguir.

2. PROPOSTA DE METODOLOGIA DE ENSINO

2.1. A escolha do experimento envolvendo um tópico relacionado à engenharia

Optou-se pelo tópico adsorção, que é uma operação unitária importante na engenharia química e é amplamente utilizada em processos de purificação e separação. A adsorção é um fenômeno físico-químico onde um gás ou um soluto em solução é adsorvido na superfície de um material por meio de interações físicas ou químicas. A adsorção está relacionada à tensão superficial das soluções e a intensidade deste fenômeno depende da temperatura, da natureza e a concentração da substância adsorvida, da natureza e estado de agregação do adsorvente. O processo inverso da adsorção chama-se dessorção. É denominado adsorvente ou substrato o material que adsorve, e adsorvato a substância que é adsorvida (ATKINS, 2008).

O processo de adsorção possui duas classificações quanto à sua natureza de ligação: a adsorção física, onde as interações entre o adsorvente e o adsorvato são ligações fracas, do tipo Van der Waals, e por isso é sempre um processo reversível. Na adsorção química as

interações entre adsorvente e adsorvato são ligações químicas (mais fortes) e os processos podem ser ou não reversíveis. A formação de ligações químicas durante o processo de adsorção faz com que este seja mais seletivo, dependendo da natureza das substâncias envolvidas.

A porcentagem de adsorção é calculada por meio da Equação (1), onde C_i é a concentração inicial da solução utilizada e C_f é a concentração final após adsorção. Portanto quando um processo requer uma avaliação e/ou otimização, é necessário a quantificação do(s) analito(s) em soluções obtidas nas várias etapas do processo por meio de uma técnica de análise.

$$\% \text{ Adsorção} = \frac{(C_i - C_f) \times 100}{C_f} \quad (1)$$

A geração de efluentes é um problema típico da indústria e de laboratórios de ensino ou pesquisa e podem ser orgânicos ou inorgânicos, tóxicos ou potencialmente tóxicos. Neste estudo foram utilizadas soluções contendo cobre por serem efluentes gerados nas aulas das disciplinas Análise Instrumental e Química Analítica para Engenharia da Escola de Engenharia Lorena.

Normalmente a remoção dos íons contidos nos efluentes é feita por meio do uso de resinas poliméricas (troca iônica ou quelantes) ou por métodos tradicionais de tratamento como precipitação, oxidação, redução, filtração e tratamento eletroquímico, entre outros. Algumas vezes, porém, estas metodologias apresentam desvantagens devido ao custo, geração de resíduos inadequados e/ou inviabilidade técnica (BENGUELLA & BENAÏSSA, 2002; YALÇINKAYA *et al*, 2002).

O uso de biomassa tem se mostrado uma boa alternativa para a remoção de íons metálicos em efluentes devido à sua capacidade de adsorção de espécies inorgânicas, ser biodegradável, barata e facilmente disponível por vir de uma fonte renovável. Existem vários trabalhos em que foi estudada a viabilidade do uso de diferentes biomassas como adsorvedores de espécies inorgânicas, como bagaço de cana, casca de coco, serragem, casca de banana, casca de laranja, entre outros (ALBERTINI *et al*, 2007; RODRIGUES *et al*, 2006; CARVALHO, *et al*, 2009). Estes estudos normalmente focam na avaliação do rendimento do processo em função da variação de pH, massa de trocador, tipo de biomassa, tempo de adsorção, etc.

O bagaço de cana foi a biomassa escolhida para este estudo por ser um resíduo das indústrias sucroalcooleiras, logo, é uma biomassa bastante disponível e com um grande apelo ambiental. Além disso, é amplamente utilizado em pesquisas da Escola de Engenharia de Lorena, especialmente no Departamento de Biotecnologia, responsável pelo curso de Engenharia Bioquímica (ROCHA, *et al*.2012; OLIVEIRA, *et al*.2012; NAKANISHI, *et al*.2011 SILVA, *et al*.2010 RUZENE, *et al*.2009).

A utilização da biomassa possibilita ao professor variar o adsorvato ou o adsorvente e ter um experimento diferente a cada semestre. Também abre campo para a discussão de temas transversais da engenharia, como resíduos agrícolas e químicos, suas particularidades e consequências ambientais, e como a análise química pode auxiliar nesta discussão e na tomada de decisões que levem a ações afirmativas sobre estas questões.

2.2. A escolha da técnica analítica

Dependendo da informação necessária, todas as técnicas de análise que constam do conteúdo programático da disciplina Análise Instrumental podem ser exploradas para a avaliação de amostras provenientes de processos industriais. As espécies inorgânicas podem

ser determinadas por espectrofotometria UV/Vis, espectrometria de absorção atômica, espectrometria de emissão ótica e cromatografia de íons. A determinação de pH e de algumas espécies inorgânicas podem ser feitas por técnicas eletroanalíticas. Compostos orgânicos podem ser determinados por espectrometria de infravermelho ou por cromatografia gasosa.

Na maioria dos artigos referentes a processos de adsorção em biomassa, por exemplo, as determinações quantitativas de espécies inorgânicas normalmente são feitas por espectrometria de absorção atômica (EAA) (MOREIRA, *et al*, 2009; KARNITZ JÚNIOR, *et al*, 2009), porém essa escolha não é discutida ou justificada. Essa técnica é adequada por ser multielementar, apresentar boa sensibilidade e porque a maioria dos laboratórios de pesquisa possui este equipamento. Na maioria dos laboratórios de ensino utilizados em cursos de graduação, entretanto, equipamentos de grande porte como este não estão disponíveis, de modo que o acesso dos alunos é bastante limitado. Por outro lado, equipamentos mais simples e baratos, como espectrofotômetros UV/Vis, são encontrados em número suficiente para que os alunos possam trabalhar em grupos pequenos na execução dos experimentos. Com essa técnica pode ser discutido o fenômeno físico de interação da energia radiante com a matéria, as diferenças entre as interações com átomos e moléculas, os experimentos e equações que permitem que esses fenômenos sejam usados para determinações qualitativas e quantitativas de compostos químicos. Dessa forma esta técnica pode ser bastante explorada nas aulas práticas, servindo de suporte para as demais técnicas que estão relacionadas com a absorção ou emissão de energia radiante (EAA, ICP OES e FTIR).

A técnica UV/Vis se baseia na intensidade de radiação absorvida pelo analito quando a luz de um determinado comprimento de onda atravessa uma solução contendo a amostra. Dependendo do intervalo de concentração, a absorção de luz pode ser expressa pela lei de Beer-Lambert, mostrada na Equação (2):

$$A = \epsilon bC \quad (2)$$

Onde A é a absorbância, ϵ é o coeficiente de absortividade molar que caracteriza a espécie absorvente, b é o caminho ótico atravessado pela luz na solução e C é a concentração do analito. Esta técnica é muito importante para a formação do aluno, pois além de relativamente barata, tem uma boa resposta analítica (precisão e exatidão) e é muito utilizada tanto na indústria quanto na área acadêmica. O entendimento dos fenômenos e conceitos envolvidos aqui é facilitado pela execução de procedimentos experimentais, onde os resultados obtidos no laboratório são compilados, analisados e vão gerar um documento (um relatório ou uma apresentação) onde os conhecimentos adquiridos serão sedimentados e avaliados. Técnicas analíticas que utilizam basicamente os mesmos fenômenos físicos, como EAA e ICP OES, são assimiladas mais facilmente depois disso, mesmo envolvendo instrumentação mais sofisticada e nem sempre disponível.

2.3. Desenvolvimento do procedimento didático

O desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem relativo ao tópico espectrometria UV-Vis normalmente segue o método científico, onde inicialmente é feito um estudo teórico em sala de aula e depois os alunos são levados ao laboratório, onde executam alguns experimentos que demonstrem e comprovem a teoria estudada.

A sequência lógica adotada é a obtenção de um espectro de uma solução padrão contendo um analito (normalmente cobre) e a determinação do comprimento de onda de máxima absorbância. Nesse ponto são discutidos aspectos relativos ao uso do equipamento, análise qualitativa e da solução branco.

Em uma segunda etapa, os alunos preparam três ou quatro soluções padrões do analito, obtidas por diluição da solução padrão usada anteriormente. Em seguida leem a absorvância dos padrões para a construção e avaliação da curva analítica em relação à linearidade e adequação à lei de Beer. Finalmente determinam a concentração de uma amostra ideais, preparada a partir da mesma solução padrão utilizada para a obtenção do espectro e da curva analítica. Nesta fase são discutidas a análise quantitativa envolvendo faixa de utilização em função da concentração do analito e os desvios da lei de Beer. A existência de interferências químicas e instrumentais também é citada, mas como todo o procedimento é estritamente controlado os alunos não se deparam com elas efetivamente.

Como alternativa a essa metodologia didática propõe-se que, complementando os procedimentos descritos acima, os alunos recebam a tarefa de otimizar um procedimento de remoção de cobre presente no resíduo do laboratório por adsorção em bagaço de cana, uma biomassa facilmente disponível. Para isso os alunos teriam que discutir o processo de adsorção, fazer um planejamento de experimentos e propor uma série de experimentos variando alguns parâmetros relacionados à eficiência da adsorção. Em seguida devem executar os experimentos planejados e obter uma série de soluções. Depois eles precisam quantificar o cobre em cada uma das soluções por espectrometria UV/Vis, pois esse é o parâmetro indicativo da eficiência do processo de adsorção que ele está querendo otimizar.

Para executar estas tarefas no tempo disponível para as aulas o trabalho precisa ser parcialmente feito extraclasse e a parte experimental distribuída entre várias equipes, o que por si já exige um trabalho de integração e gerenciamento complementar à formação do engenheiro. Dependendo das condições de ensino encontradas na escola, essa parte do trabalho pode ser feita pelo professor e as atividades distribuídas às equipes de forma mais direta e objetiva. De um modo ou de outro, os alunos deverão trabalhar com amostras reais e ideais, discutir suas semelhanças e diferenças e adaptar as metodologias analíticas conforme as necessidades, que é o foco principal desta proposta.

Na figura 1a é mostrado o espectro, que é um gráfico de Absorvância por comprimento de onda, na região do visível de soluções de cobre, como apresentados normalmente para os alunos (solução padrão) e na figura 1b o espectro de uma solução similar que passou pelo processo de adsorção. Neste caso, dois aspectos podem ser discutidos: as diferenças nos perfis das curvas, o que indica que houve alteração na espécie absorvente presente na solução e a diminuição no máximo de absorvância, que tanto pode indicar uma mudança da espécie química que está absorvendo a luz (um problema analítico) ou a diminuição da concentração de cobre resultante da adsorção pelo bagaço (um problema de processo). Isto significa que o aluno terá que resolver primeiro a questão analítica (absorção ou alteração química do adsorvato?) para utilizar este resultado como parâmetro de decisão sobre o processo de adsorção.

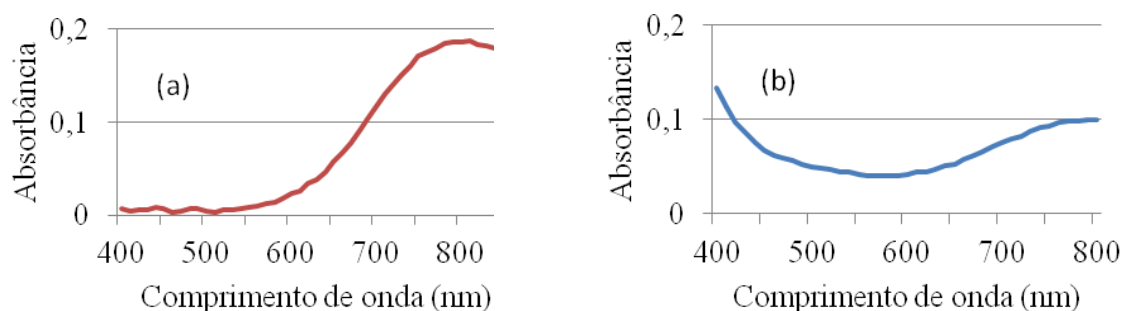


Figura 1. Espectros de absorção na faixa do comprimento de onda da luz visível de absorção da solução padrão de cobre (a) e da solução resultante da adsorção (b).

As questões analíticas envolvidas são como determinar efetivamente as espécies absorventes nos dois casos, como verificar a existência de interferências e possíveis correções e escolher o comprimento de onda adequado para quantificar o analito.

A diminuição da absorção leva à discussão dos limites de detecção relacionados à técnica e nos métodos disponíveis para aumentá-lo, incluindo pré-concentração e mudança química da espécie absorvente (complexação do analito).

Como a solução de cobre obtida estava muito diluída, foi necessário complexar o cobre para conseguir um sinal de absorbância maior, ou seja, aumentar a sensibilidade do método. Na Figura 2a é mostrado o espectro de uma solução de cobre $6.10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ e na Figura 2b o espectro de uma solução de mesma concentração de cobre complexado com amônia. Nelas podem ser discutidos os aspectos relacionados ao aumento da sensibilidade do método pela mudança da espécie absorvente e do ponto de máxima absorção como função da absortividade característica de cada espécie.

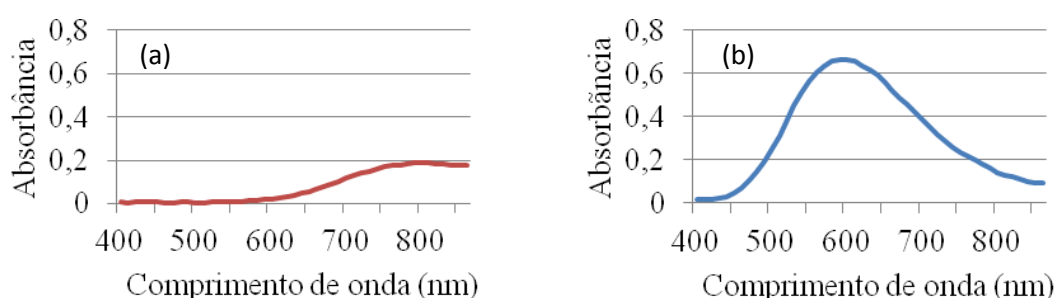


Figura 2. Espectro de absorção na faixa do comprimento de onda da luz visível das soluções de cobre (a) e cobre complexado com amônia (b).

Na Figura 3a é mostrado o espectro de absorção na faixa do comprimento de onda da luz visível da solução padrão complexada em comparação com o espectro da mesma solução após o processo de adsorção pelo bagaço (Figura 3b). Em ambos os casos o pico de absorbância ocorre em 605nm, mas as diferenças nos perfis das curvas e de intensidade no comprimento de onda de máxima absorbância permanecem.

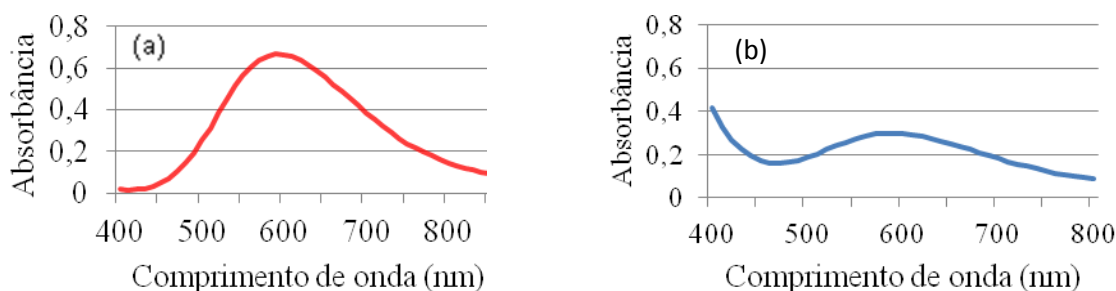


Figura 3. Espectros de absorção na faixa do comprimento de onda da luz visível da solução de cobre complexado (a) e solução resultante da adsorção após complexação do cobre (b).

Para estudar a diferença nos perfis das curvas, os alunos tem que repetir o experimento estendendo a faixa do espectro para a região UV (até 300 nm), o que implica em uma discussão sobre instrumentação analítica, incluindo o material utilizado nas cubetas de amostras (polímero, vidro ou quartzo). Na Figura 4a é mostrado o espectro de uma solução ideal e na Figura 4b o da solução que passou pelo processo de adsorção.

Neste experimento os alunos podem verificar que as diferenças ocorrem essencialmente na região UV, de modo que em princípio é possível realizar as determinações na região visível corrigindo a absorbância relativa a uma solução branco.

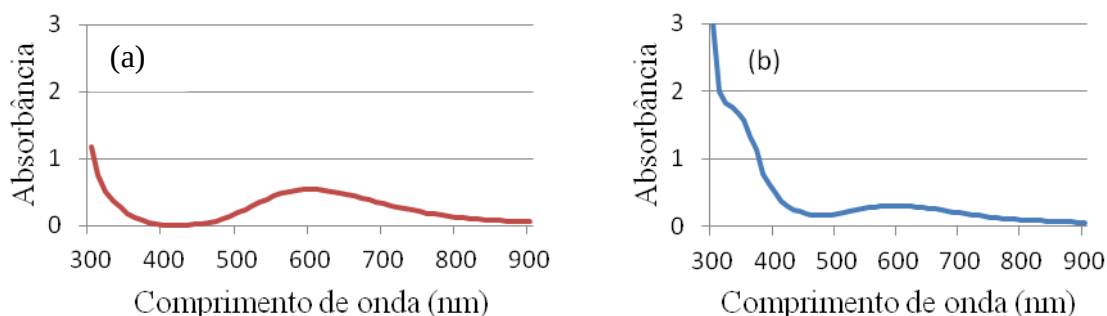


Figura 4. Espectros de absorção de solução de cobre na região UV/Vis (a) e de solução resultante da adsorção na região UV/Vis (b).

Nesse ponto pode-se introduzir a discussão sobre os usos e limitações das soluções branco e como obtê-las a partir de procedimentos reais. Na Figura 5 é mostrado um espectro de uma solução branco obtido a partir do processo de adsorção pelo bagaço de cana. Com ele os alunos podem verificar que a diferença no perfil das curvas obtidas se deve a outros compostos provenientes do processo de adsorção, independentemente da existência do analito (cobre). A partir destes dados os conceitos de interferências interelementares, condições de contorno e métodos de correção precisam ser entendidos e considerados na metodologia de análise.

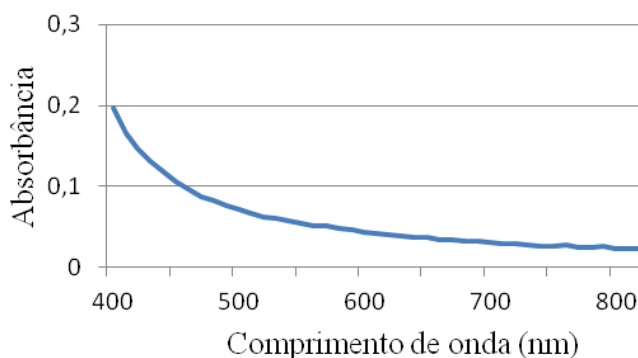


Figura 5: Espectro de absorção na faixa do comprimento de onda da luz visível de solução branco obtida a partir do processo de adsorção.

Após esse estudo os alunos já terão condições de avaliar qual a melhor alternativa entre duas possíveis: primeiro propor e executar uma metodologia de análise baseada na espectrofotometria UV/Vis que forneça resultados precisos e confiáveis para suportar as decisões relacionadas ao processo de adsorção. Dependendo das necessidades reais relativas à otimização do processo de adsorção, uma alternativa semi quantitativa pode ser considerada. Caso isso não seja possível, propor uma técnica de análise alternativa dentre as estudadas na disciplina. A escolha desta nova técnica obviamente deve gerar uma nova etapa de discussões e negociação entre todos os envolvidos, realimentando o processo de ensino. A partir destes estudos, os resultados analíticos fornecem os subsídios necessários para a tomada de decisões

sobre o processo de adsorção. As modificações no processo decorrentes destas decisões gerarão novas soluções que necessitam ser quantificadas. Antes que isso aconteça, entretanto, os métodos analíticos tem que ser revistos para confirmar a sua validade para as novas amostras, gerando um processo dinâmico e evolutivo do processo de ensino e aprendizagem.

Considerando o número de variáveis envolvidas nos processos de adsorção, de possíveis adsorventes, adsorbatos, técnicas e métodos de análises diferentes disponíveis pode-se inferir que essa metodologia de ensino tem enorme potencial para fornecer ambientes de aprendizagem diferenciados a cada semestre, ricos e motivadores.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de problemas de engenharia como ponto de integração para o ensino de técnicas de análises químicas para engenheiros, tal como proposto neste trabalho, muda uma série de paradigmas na estratégia didática normalmente adotada nas disciplinas de Análises Instrumentais. A mudança mais clara, embora não necessariamente a mais importante, é retirar o caráter de conteúdo programático isolado e estanque, restrito a ensinar somente um tópico específico de química.

O envolvimento de um problema típico de engenharia leva à almejada interdisciplinaridade e à estratégia de ensino por solução de problemas. Para enfrentar a nova situação que é colocada para os alunos, eles têm que resgatar e aplicar os conhecimentos aprendidos em Estatística (planejamento de experimentos e tratamento de dados), de Química Geral (cálculo e preparação de soluções) e de Química Analítica (identificação de compostos orgânicos e inorgânicos, escolha e manuseio adequado de material para análise qualitativa e quantitativa, precisão e exatidão nas medições). O fato desta integração se dar em uma disciplina experimental, na qual eles têm que comprovar as suas hipóteses com resultados obtidos no laboratório, mostra que os resultados finais (a otimização do processo de adsorção) dependem de vários estágios de desenvolvimento intermediários de igual importância (uma vez que podem inviabilizar o resultado final) e que estes dependem dos conhecimentos diferentes e complementares adquiridos ao longo do seu curso.

Fica claro neste ponto que o conhecimento não pode ser utilizado isoladamente, embora seja essa a impressão geral que os alunos tem durante o curso. Para a maioria deles, o principal sentido de estudar é passar na prova e “pagar” os créditos da disciplina, muito mais do que aprender e formar-se pessoal e profissionalmente.

Outro ponto interessante nesta proposta é que a metodologia pode ser aplicada de modo realmente interdisciplinar, no sentido de envolver diretamente duas ou mais disciplinas do curso, ou apenas nas turmas de Análise Instrumental. O primeiro caso é o ideal, entretanto pode enfrentar problemas de falta de interação entre o corpo docente das várias disciplinas e logística na distribuição das tarefas e integração entre as turmas. Dependendo do caso, pode ser muito difícil a implantação desse modo em um primeiro momento.

Se for implantado somente nas turmas de Análise Instrumental, parte das tarefas pode ser realizada previamente pela equipe técnica e pelo professor, como o planejamento de experimentos e a preparação da biomassa. Os alunos fariam a preparação das soluções, os experimentos de adsorção, o desenvolvimento do método de análise e tratamento de dados, atividades que poderiam ser realizadas no tempo disponível no laboratório, desde que distribuídas adequadamente entre várias equipes.

O principal paradigma a ser quebrado, no entanto, refere-se à mudança de foco na metodologia de ensino. Nesta proposta foco passa a ser a formação do aluno em vez da transferência de conhecimento técnico, uma vez que ele passa de mero executor de tarefas predefinidas (roteiros de laboratórios, listas de exercícios e provas) para agente ativo de mudança do seu ambiente.

O desenvolvimento do método de análise e a otimização do processo de adsorção passam a ter abrangência e motivação maiores, que é a remoção de resíduos potencialmente tóxicos gerados nos laboratórios de ensino. Os alunos veem esses resíduos serem descartados em bombonas plásticas em todas as aulas experimentais de química do seu curso, mas não sabem exatamente o que acontece com eles depois. Na metodologia proposta eles passam a ter um problema real para resolver, que é dar um destino adequado a esses resíduos, preparando-o para situações que serão encontradas na sua vida profissional. Para isso eles têm que estudar, propor, discutir, negociar, convencer, explicar, realizar, refletir, aprender e crescer (não necessariamente nessa ordem), ou seja, se formar como profissionais e cidadãos. É evidente que um experimento ou método aplicado a uma disciplina não pode mudar radicalmente todo o curso, mas certamente é uma evolução significativa para esta disciplina em particular que, se mostrando eficiente e produtiva, pode levar a proposta (ou outras similares) para as demais disciplinas. Os conceitos aplicados aqui não são inéditos nem revolucionários em termos de teorias ou metodologias de ensino, mas representam uma aplicação prática do que é extensamente discutido em várias delas.

Agradecimentos

À Pró-Reitoria de Graduação da USP pela bolsa de iniciação científica concedida (Programa Ensinar com Pesquisa).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTINI, S.; CARMO, Q. F.; PRADO FILHO, L. G. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* v.27, n.1, 2007.

ATKINS, P. W.; PAULA, J. *Físico-Química*. Volume 2, 8ª Ed. Rio de Janeiro. LTC, 2008.

BENGUELLA, B. and BENAÏSSA, H. Effects of competing cations on cadmium biosorption by chitin. *Colloids and Surfaces*, v. 201, n.1, p. 143-150. 2002.

CARVALHO, P. S., Gomes, F. R., Silva, L. G., Ruggiero, R. Resíduos lignocelulósicos de bagaço quimicamente modificados dopados com íons metálicos, VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia. 2009.

KARNITZ JÚNIOR, O., GURGEL, L. V. A., FREITAS, R. P. de, GIL, L. F., Carbohydrate Polymers. Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse chemically modified with EDTA dianhydride (EDTAD). *Carbohydrate Polymers*, v. 77, n. 3, p. 643–650, 2009.

MOREIRA S. A., SOUSA F. W. OLIVEIRA A. G., NASCIMENTO R. F., BRITO E. S. Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de caju. *Química Nova*, v.32, n.7, p. 1717-1722, 2009.

MOREIRA, S. A. Utilização de bagaço de caju como bioadsorvente na remoção de metais pesados de efluente industrial. II Congresso De Pesquisa E Inovação Da Rede Norte Nordeste De Educação Tecnológica (CONNEPI), João Pessoa 2007.

NAKANISHI, S. COELHO, G.; ADILSON R.; ROCHA, G.; BALLINAS, M. L. ; GONZALEZ, G. G. Obtaining polymeric composite membranes from lignocellulosic

components of sugarcane bagasse for use in wastewater treatment. DESALIN WATER TREAT, v. 27, n.1, p. 66-71, 2011.

OLIVEIRA, F. M.V. ; PINHEIRO, I. O. ; SOUTO-MAIOR, A. M. ; MARTIN, C.; GONÇALVES, A. R.;ROCHA, G. J.M.. Industrial-scale steam explosion pretreatment of sugarcane straw for enzymatic hydrolysis of cellulose for production of second generation ethanol and value-added products. Bioresource Technology, v.130, n.1, p. 168-173, 2012.

PERRENOUD, P. **Construir competências é virar as costas aos saberes?** Disponível em <<http://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/29108-29126-1-PB.pdf>> Acesso em: 10 maio 2013.

ROCHA, G. J.M.; MARTÍN, C. ; DA SILVA, V. F.N. ; GÓMEZ, E. O.; GONÇALVES, A. R..Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification.Bioresource Technology, v.111, p.447-452, 2012.

RODRIGUES, R. F.; TREVEZOLI, R. L.; SANTOS, L. R. G.; LEÃO, V. A.; BOTARO, V. R. Adsorção de metais pesados em serragem de madeira tratada com ácido nítrico. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.11, n.1, 2006.

RUZENE, D. S.;SILVA, D. P.; VICENTE, A. A. ;TEIXEIRA, J. A.; PESSOA DE AMORIM, M. T.; GONÇALVES, A. R. Cellulosic Films Obtained from the Treatment of Sugarcane Bagasse Fibers with N-methylmorpholine-N-oxide (NMMO). Applied Biochemistry and Biotechnology, v.154, n1, p. 38-47, 2009.

SILVA, V. F. N.;ARRUDA, P. A V.;FELIPE, M. G. A.;GONÇALVES, A. R.;ROCHA, GEORGE J. M. Fermentation of cellulosic hydrolysates obtained by enzymatic saccharification of sugarcane bagasse pretreated by hydrothermal processing. Journal of Industrial Microbiology&Biotechnology, v.38, n.7, p. 809-817, 2011.

YALÇINKAYA, Y. et al. Biosorption of cadmium form aquatic systems by carboxymethylcellulose and immobilized Trametes versicolor. Hydrometallurgy, v. 63, p. 31-40. 2002.

ADSORPTION PROCESSES ON BIOMASS AS TOOL FOR TEACHING OF INSTRUMENTAL ANALYSIS IN ENGINEERING COURSES

Abstract: *In this work is presented a multidisciplinary methodology for the teaching-learning of chemical analysis by UV-VIS spectrometry technique in engineering courses. The methodology is problem-based learning and consists in the optimization of an adsorption process of copper by sugarcane bagasse, which provides real samples where copper concentrations need to be determined, providing essential information to optimize the adsorption process. The similarities and differences between ideal and real samples are demonstrated and discussed. The students have to work in teams, using concepts of unit operations, design of experiments, analytical chemistry, biomass and the environment. The methodology provides the integration between these themes, motivate students, strengthen the programmatic content and demonstrate what skills and competencies acquired throughout the course are qualifying evaluations, interdependent and fundamental to the understanding, control and optimization of industrial processes.*

Key-words: *Adsorption, sugarcane bagasse, instrumental analysis, UV/Vis spectrometry, interdisciplinarity.*