



LABORATÓRIO ABERTO DE PROCESSOS QUÍMICOS – UMA NOVA METODOLOGIA DE ENSINO

Alberto Colli Badino Jr. – badinojr@power.ufscar.br
Antonio J. G. Cruz – ajgcruz@deq.ufscar.br
Edson Luis Silva – edsilva@power.ufscar.br
Ernesto A. Urquieta Gonzáles – urquieta@power.ufscar.br
Everaldo C. C. Araujo – araujo@power.ufscar.br
José Mansur Assaf – mansur@power.ufscar.br
José Maria C. Bueno – jmcb@power.ufscar.br
João Baptista Baumgartner – jotab@power.ufscar.br
Luis Fernando de Moura – lfmoura@power.ufscar.br
Paulo Ignácio F. de Almeida – pignacio@power.ufscar.br
Roberto de Campos Giordano – roberto@deq.ufscar.br
Raquel de Lima C. Giordano – raquel@deq.ufscar.br
Teresa Cristina Zangirolami – teresacz@power.ufscar.br
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
Via Washington Luis, km 235, C.P. 676 – Monjolinho
13565-905 – São Carlos - SP

Resumo: A criação do Laboratório Aberto de Processos se baseou em uma concepção metodológica inovadora no ensino de Projeto e Desenvolvimento de Processos Químicos e Bioquímicos. Essa metodologia foi implantada nas disciplinas Desenvolvimento de Processos Químicos 1 e 2, ministradas pelo DEQ-UFSCar a alunos do 7º e 8º períodos do curso de Engenharia Química. Todos os experimentos dessas disciplinas lançam mão do conceito de laboratório aberto. Não é prioridade que estudantes cheguem a um resultado final pré-definido, mas entendam quais são as principais variáveis e como estas interferem no desempenho da Unidade de Processo (UP). Para isso, dispõem de infra-estrutura laboratorial e devem apresentar iniciativa para resolver problemas reais a eles propostos. Além disso, é dado destaque ao controle do processo. Pretende-se despertar no aluno a noção clara da necessidade, ou não, do controle automático de determinadas variáveis, associando tal decisão aos custos agregados ao produto final. Adotou-se como processo-piloto, nos dois primeiros anos da disciplina, a produção de açúcar, de álcool e a alcoolquímica. Essa proposta buscou atender três aspectos: a) as características macroeconômicas da região de São Carlos, b) a delimitação da abrangência do estudo e, c) aproveitar ao máximo as características de formação dos membros do grupo nos campos do Ensino e da Pesquisa. As UPs avaliadas nesses processos foram: 1) Fermentação Alcoólica (m.o. imobilizado). 2) Fermentação Alcoólica em Batelada e Batelada alimentada (m.o. livre). 3) Cultivo (aeróbio) de Levedura de Panificação. 4) Automação da Produção de Levedura. 5) Concentração de Açúcar por Evaporação. 6) Cristalização de Sacarose (a frio e a quente). 7) Destilação de Etanol. 8 e 9) Tratamento da Vinhaça (físico-químico e bioquímico). 10) Desidratação Catalítica do Etanol. 11) Desidrogenação Catalítica do Etanol. 12) Produção de Carvão Ativo (a partir de resíduos do bagaço de cana). Os recursos financeiros para implantação deste laboratório foram provenientes do PADCT/CAPES, sendo investidos R\$ 182.889,50 e US\$ 116.130,00.

Palavras-chave: Laboratório Aberto, Processos Químicos, Engenharia Química.

1. INTRODUÇÃO

Embora o Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (DEQ/UFSCar) disponha de estrutura de ensino com excelente corpo docente, laboratórios didáticos, biblioteca e interação com a pós-graduação, as grandes mudanças tecnológicas e o desenvolvimento científico constante fazem com que se procure aprimorar constantemente o currículo do curso de graduação em Engenharia Química. Desde a sua criação, em 1976, o curso de Engenharia Química do DEQ/UFSCar sofreu três alterações curriculares (1980, 1984 e 1998). A última, que produziu o atual currículo, buscou melhorar as condições para um maior desenvolvimento da versatilidade, do senso crítico-constructivo e da criatividade, sendo válida para os alunos ingressantes a partir de 1998. Essa reforma contemplou: uma maior integração das disciplinas com modificação de ementas e redefinição de enfoques e exemplos; a redução do número de créditos pela fusão e/ou eliminação de disciplinas; a alteração dos experimentos existentes com maior participação dos alunos no desenvolvimento dos objetivos e da metodologia assim como no aperfeiçoamento das unidades experimentais e principalmente a criação de disciplinas de caráter “aberto”. Nestas disciplinas objetiva-se despertar no aluno a capacidade de atuar como “engenheiro”, no sentido de encontrar soluções para o desenvolvimento de um processo químico, estimulando o trabalho em equipe. Para concretização dessa reformas foi necessária a construção de um laboratório multipropósito de processos químicos (SILVA e ARAUJO, 1998).

Este laboratório, de caráter multipropósito, foi denominado de “Laboratório Aberto de Processos Químicos” e veio atender especificamente as disciplinas “Desenvolvimento de Processos Químicos 1 e 2” criadas na reestruturação curricular e inseridas no sétimo e o oitavo períodos. O laboratório poderá ainda atender também a outras disciplinas experimentais, sempre que propostas em caráter aberto, seguindo, portanto, a metodologia de ensino que se constitui no objetivo central deste projeto. O laboratório é constituído de equipamentos de análise e unidades experimentais onde os alunos podem estudar processos convencionais, aperfeiçoar processos e desenvolver novos produtos. Os graduandos têm as seguintes facilidades:

- a) Biblioteca Comunitária informatizada;
- b) oficina de vidraria (Departamento de Química/UFSCar);
- c) oficina mecânica própria com calandra, tornos, fresas, máquinas de solda e ferramentas em geral;
- d) mais de 50 equipamentos didáticos dos laboratórios de ensino;
- e) laboratório de automação;
- f) acesso a equipamentos de análise alocados nas Áreas de Pesquisa do DEQ, para uso eventual;
- g) sala de informática com computadores conectados à Internet.

2. OBJETIVOS

É objetivo deste projeto a criação de uma infra-estrutura que permita uma nova abordagem metodológica para o ensino de graduação em engenharia química. Ao montar um laboratório multipropósito denominado “Laboratório Aberto de Processos Químicos”, com diversos equipamentos de análise e unidades experimentais, tornou-se possível a proposição para o aluno de problemas em aberto onde o professor poderá atuar como “orientador”. Dessa forma, cada grupo de alunos poderá entrar em contato com os diferentes problemas que se enfrenta na realidade desde revisão bibliográfica para levantamento do estado da arte para

cada problema que se necessite resolver; leitura de manuais (para operação correta de equipamentos), improvisações necessárias para compatibilizar arranjos experimentais (uso de válvulas, conexões, ligações elétricas, adaptações mecânicas) até planejamento dos experimentos necessários para resolução do problema proposto, busca e desenvolvimento de metodologia analítica para acompanhamento dos experimentos, controle das variáveis envolvidas e tratamento de dados com auxílio de computador e simuladores de processo.

Em virtude da importância sócio-econômica da Indústria Sucro-alcooleira no país e, em especial na região da cidade de São Carlos – SP, os processos de produção de açúcar, álcool e derivados foram abordados durante a fase de implantação do projeto, para a consolidação do laboratório proposto, lembrando que os materiais e equipamentos adquiridos neste projeto servirão para a análise de uma grande variedade de outros processos.

O laboratório está sendo fundamental para a consolidação da nova estrutura curricular do Curso de Engenharia Química da UFSCar, cujos principais objetivos são integração com o ciclo básico; redução do número de créditos e a adoção de práticas laboratoriais que irão exigir maior criatividade, iniciativa e pesquisa extra-sala dos alunos, além da maior interação entre as áreas de pesquisa e ensino e entre professores e alunos.

3. CONCEPÇÃO METODOLÓGICA

O produto final do presente trabalho consistiu na geração de uma concepção metodológica inovadora no ensino de Projeto e Desenvolvimento de Processos Químicos e Bioquímicos. Essa concepção foi implantada nas disciplinas de projeto ministradas pelo DEQ-UFSCar. Todos os experimentos dessas disciplinas têm como objetivo central o conceito de laboratório aberto, ou seja, não é prioridade que estudantes cheguem a um resultado final definido, mas que entendam quais são as principais variáveis e de como estas interferem no desempenho da Unidade de Processo (UP), bem como tenham infra-estrutura laboratorial e iniciativa para resolverem problemas propostos reais. Além disso, é dado especial destaque ao controle dessas variáveis, que poderá ser manual ou automático, buscando inculcar no aluno a noção clara da necessidade, ou não, do controle automático de determinadas variáveis, ao associar a decisão com os custos agregados ao produto final.

Para que essas características fossem alcançadas, dentro de disciplinas curriculares, criaram-se as figuras do “professor-coordenador” da disciplina e do “professor-tutor”, cuja formação está mais afeita a uma determinada UP. Cabe lembrar que todos os professores do DEQ estão alocados em uma das áreas de ensino: Fenômenos de Transporte e Termodinâmica, Operações Unitárias, Engenharia das Reações Químicas e Bioquímicas, Controle e Simulação de Processos Químicos, podendo atuar como “professores-tutores”.

Cabe ao “professor-coordenador” as seguintes tarefas:

- a) atribuir o(s) processo(s) que será(ão) estudado(s) em um determinado semestre;
- b) dividir a classe em grupos encarregados do estudo de uma determinada UP e;
- c) promover, de tempos em tempos, discussões entre os grupos para que todos tenham a percepção global do(s) processo(s) estudado(s). É atribuição também do “professor-coordenador” discutir o andamento dos trabalhos com os “professores-tutores”, de tal forma que as atividades passadas para os alunos sejam avaliadas e eventualmente redimensionadas.

Aos “professores-tutores” cabe estimular a discussão sobre a UP dentro do grupo, apontar os prós e contras das propostas que forem surgindo, bem como orientar a pesquisa bibliográfica, a montagem e execução de experimentos e a análise dos resultados.

De maneira geral, para um dado processo, as condições de saída de uma UP deverão ser as condições de entrada da outra. Essa proposta tem dois objetivos:

- um determinado grupo terá que entender as dificuldades e limitações das UPs anteriores e subseqüentes e,
- a turma como um todo deverá entender o processo global e detectar os "gargalos do processo". Assim, por exemplo, um grupo ao estudar uma UP de fermentação, terá como efluente suspensão sólida. Caberá o outro grupo, o estudo da separação mecânica mais eficiente para a separação da matéria sólida (sedimentação, centrifugação, filtração, etc).

Adotaram-se como processos-piloto na fase de implantação do projeto a produção de açúcar e de álcool e a alcoolquímica (Figura 1). Essa proposta buscou atender três aspectos:

- as características macroeconômicas da região de São Carlos;
- a delimitação da abrangência do estudo e;
- aproveitar ao máximo as características de formação dos membros do grupo nos campos do Ensino e da Pesquisa.

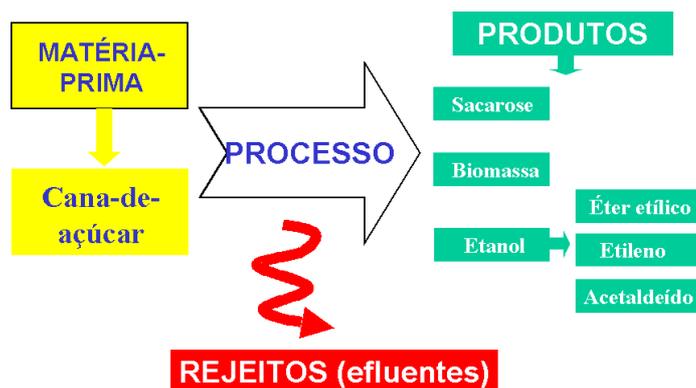


Figura 1. Apresentação esquemática do processo-piloto adotado na fase de implantação das disciplinas de Desenvolvimento de Processos 1 e 2 no DEQ/UFSCar.

As UPs avaliadas nesses processos foram: 1) Fermentação Alcoólica, 2) Concentração de Açúcar por Evaporação, 3) Destilação de Álcool, 4) Tratamento de Resíduos da Fermentação Alcoólica, 5) Estudo da Desidratação Catalítica do Etanol.

Algumas dessas UPs possuíam aquisição de dados ou controle automatizado (Laboratório de Automação de Processos, ALMEIDA, 1994). Em todos os ensaios realizados serão verificados quais as variáveis mais importantes e os diversos graus de dificuldade que poderão ser encontrados pelos alunos, buscando-se portanto, a delimitação e abrangência de cada estudo e o atendimento do maior número de objetivos didáticos possível.

3.1 Fermentação Alcoólica

Na fermentação alcoólica realiza-se, num primeiro instante, a busca de informações na bibliografia e na indústria concernentes à produção de etanol por via fermentativa a partir da cana-de-açúcar. Entre os aspectos principais pode-se citar a forma de operação do fermentador (batelada ou contínua), a escolha da linhagem produtora, o tipo de matéria-prima principal (caldo de cana ou melaço), composição do meio de cultivo, condições ideais de pH e

temperatura, entre outros. Uma vez definidas as variáveis principais, o grupo de alunos responsável por essa etapa do processo deve definir e executar a etapa fermentativa com base na infra-estrutura disponível no laboratório. Dado que o processo fermentativo deve ocorrer em condições otimizadas de pH e temperatura, a monitoração e o controle dessas variáveis deverão ser introduzidos no processo. O grupo de trabalho deve reproduzir e desenvolver técnicas de análise das espécies envolvidas na fermentação (açúcares redutores, etanol, massa celular) com a finalidade de calcular parâmetros de desempenho do processo como a produtividade em etanol e o coeficiente de rendimento de substrato em produto. Paralelamente à fermentação, podem ser estudados a separação, o tratamento e o reaproveitamento da levedura no processo. Ainda, ao longo do desenvolvimento experimental dessa etapa, o grupo responsável deverá propor modificações das condições do processo visando melhorias na produtividade do mesmo.

3.2 Evaporação

Na concentração de açúcar por evaporação foi projetado, montado e estudado um evaporador de pequeno porte. Pretendeu-se demonstrar a importância do esforço conjunto dos membros e da relação entre as etapas: a) de fixação de objetivos e prioridades; b) revisão bibliográfica; c) elaboração dos cálculos e desenhos construtivos; d) compra e montagem; e) planejamento experimental; f) ensaios; g) possível modificação da unidade e dos periféricos com a conseqüente realização de novos ensaios; h) análise dos resultados; i) interação com as etapas anteriores e posteriores do processo e j) reprogramação de todo o estudo.

3.3 Destilação

Na destilação de álcool, a carga, constituída por mistura de água e etanol, tinha concentração típica dos efluentes de dornas de fermentação, já isentas de leveduras. Pretendeu-se verificar o grau de dificuldade para colocação do equipamento em regime, verificar a qualidade do produto com e sem controle automático, estudar os efeitos da razão de refluxo na concentração do destilado, e estimar a eficiência global da coluna através de conceitos termodinâmicos de equilíbrio líquido-vapor (UNIQUEAC, UNIFAC, etc.).

3.4 Tratamento de Resíduos

No tratamento de resíduos da fermentação alcoólica estudou-se a inter-relação entre o processo, o tipo de efluente formado, as modificações das condições de operação, a legislação e o tratamento dos efluentes líquidos e gasosos. Os gases podem ser tratados através das operações de adsorção e de absorção e os efluentes líquidos por lodo ativado. Os alunos verificaram o balanço de massa e conseqüentemente a eficiência da UP através de análises das composições de entrada e saída de cada unidade. O resíduo gerado a partir da queima do bagaço nas caldeiras foi estudado quanto à sua utilização para produção de carvão ativo.

3.5 Catálise

No estudo da desidratação catalítica do etanol utilizou-se um reator de leito fixo, com catalisador industrial, verificando a seletividade para etileno e éter etílico em função da temperatura de operação do reator, estudando os efeitos das condições experimentais (temperatura e pressão de reação, composição de alimentação) na conversão de etanol. Estudou-se o processo de separação da mistura efluente do reator composta por etileno e/ou éter etílico, água e etanol.

4. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

Apresenta-se, em linhas gerais, como se deu a implementação da proposta (iniciada em 2001) nas disciplinas Desenvolvimento de Processos Químicos 1 e 2 (ambas com 60 horas). Foram criadas 6 turmas (denominadas A, B, C, D, E e F) para cada disciplina. O número total de alunos matriculados foi dividido em doze grupos (G-A1, G-A2, G-B1, G-B2, G-C1, G-C2, G-D1, G-D2, G-E1, G-E2, G-F1, G-F2) sendo que cada dois grupos formaram uma turma específica. Doze docentes do DEQ/UFSCar envolveram-se com as atividades desenvolvidas pelos grupos. Cada docente foi responsável por um grupo e, cada dois por uma turma. A filosofia que se pretendeu implementar é a transmissão aos alunos da noção do desenvolvimento do processo como um todo e, cada grupo dissecar uma etapa específica do processo, propondo-a e implementando-a experimentalmente.

A Figura 2 e apresenta os fluxogramas partindo da matéria-prima (cana-de-açúcar) com diferentes seqüências de UP's (Operações Unitárias) ou etapas que levam a diferentes produtos, intermediários e rejeitos que se constituem na matéria-prima da próxima UP.

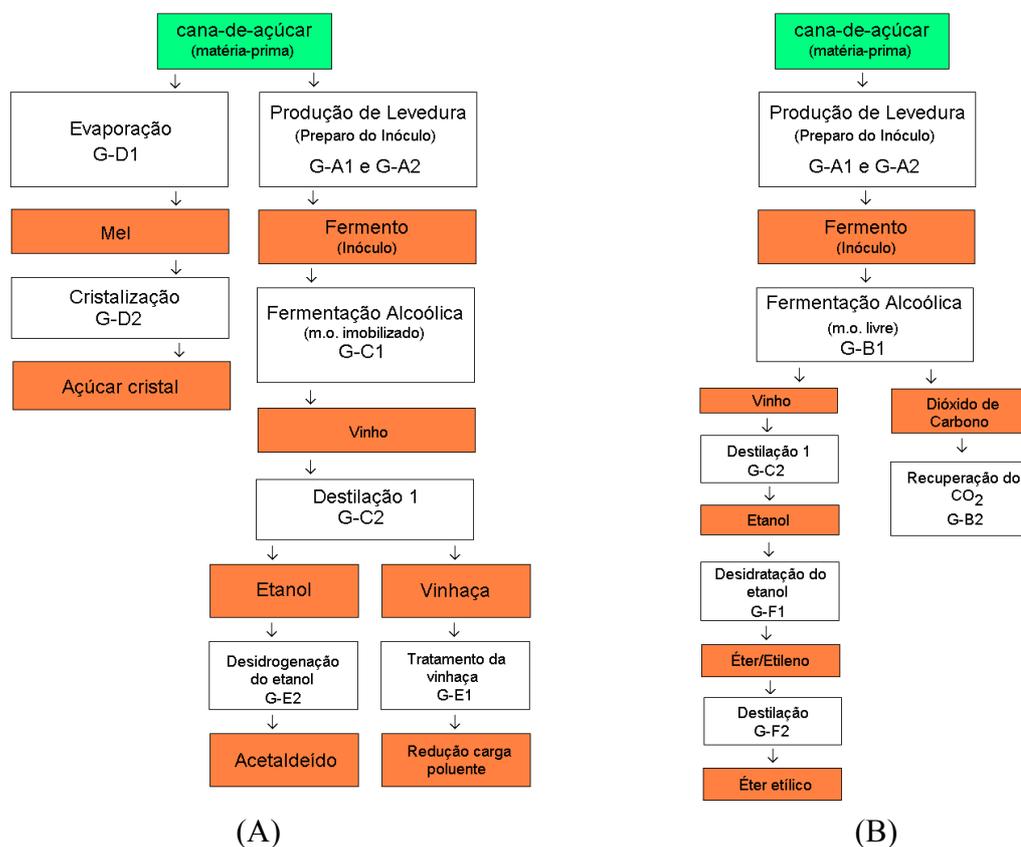


Figura 2. Fluxograma apresentando as várias Unidades de Processo (UP's) juntamente com os respectivos grupos, matérias-primas e produtos de cada UP.

5. O LABORATÓRIO

O “Laboratório Aberto de Processos Químicos” possui cerca de 300 m² de área física, sendo constituído de: sala de análises químicas, almoxarifado, sala de informática e um mezanino com espaço para reuniões em grupo, exposição de tópicos, aulas de fundamentos, etc.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Quadro 1 fornece uma análise comparativa entre a situação anterior e a atual que vem sendo alcançada com o projeto.

Quadro 1. Análise comparativa entre a situação anterior e a atual com a implantação do Laboratório Aberto de Processos através das disciplinas Desenvolvimento de Processos Químicos 1 e 2.	
Situação anterior	Situação atual
Os laboratórios possuíam experimentos predeterminados. Os experimentos eram estanques.	Os novos laboratórios requerem pesquisas, versatilidade, senso crítico-construtivo, criatividade e iniciativa. Os experimentos são flexíveis, com ênfase na formação.
Ocorria pouca interação entre as áreas de ensino e pesquisa.	Os trabalhos estimulam as interações entre as áreas de ensino e pesquisa.
As atuais disciplinas de Processos Químicos e de Projeto eram apenas teóricas.	As disciplinas “Desenvolvimento de Processos Químicos 1 e 2” têm enfoque de desenvolvimento de experimentos.
Havia pouca interação professor-aluno.	Os desafios estimulam uma maior interação professor-aluno. Acentua-se a questão da orientação.
Aos alunos era dada pouca liberdade em suas atividades extra-classe.	As pesquisas a textos e o contato com o setor industrial propicia aos alunos maior liberdade em suas atividades extra-classe.
Eram poucas as interações com o setor industrial.	A interação com o setor industrial vem sendo estimulada.

Agradecimentos

Ao PADCT III/CNPq, Processo 01-QEQ-01/97-03/01-7 – RC: 1.2.6-0005/98, pelos recursos necessários à implantação do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. I. F. (Coordenador do Projeto) Automação de Experimentos Didáticos de Engenharia Química, PADCT-II/CNPq, 1994.

SILVA, E. L. e ARAUJO, E. C. C. (Coordenador e Vice-Correadador do Projeto) Laboratório Aberto de Processos Químicos, PADCT III/CNPq, 1998.



OPEN LABORATORY OF CHEMICAL PROCESSES – A NEW LEARNING METHODOLOGY

Abstract: *The Open Laboratory of Chemical Processes is based on a new conception of learning methodology, regarding Design and Development of Chemical and Biochemical Process. This methodology was introduced in the courses of Development of Chemical Processes 1 and 2, offered by DEQ-UFSCar to Chemical Engineering undergraduates of the 7th and 8th periods. All the experiments in these disciplines are developed following the concept of “open laboratory”. A pre-defined result is not the main objective of the activities. Instead, one aims at the understanding of the process fundamentals, at the identification of primary variables, and of how these variables affect the Process Unit performance. To put this in practice, the students use an equipped laboratory, and must display initiative to solve the problems proposed to them. Process control is a key point, in order to point out the fact that some variables must (or may not) be automatically controlled, depending on the cost-benefit balance regarding the product. The pilot-project during the two first years of this course was based on the production of sugar, ethanol, and on alcohol-chemistry.*

Three aspects were considered in this decision: a) the macroeconomic characteristics of the region of São Carlos; b) limiting the range of the studies; c) taking advantage of the background of the faculty involved in the project.

The Process Units studied were: 1) Alcoholic Fermentation (immobilized microorganism). 2) Alcoholic Fermentation in Batch and Fed-Batch (free cells). 3) Baker's Yeast Cultivation. 4) Automation of Baker's Yeast process. 5) Concentration of sugar cane molasses by evaporation. 6) Crystallization of sucrose. 7) Ethanol distillation. 8 and 9) Treatment of ethanol distillation disposals (physical-chemical and biochemical). 10) Catalytic dehydration of ethanol. 11) Catalytic dehydrogenation of ethanol. 12) Production active coal (from sugar cane bagasse). The funding to set up the laboratory was provided by PADCT/CAPES (R\$ 182.889,50 and US\$ 116.130,00).

Key-words: *Open Laboratory, Chemical Process, Chemical Engineering.*