

CONTROLE DE PROCESSOS EM BATELADA NO ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Paulo Ignácio Fonseca de Almeida – pauloalmeida@power.ufscar.br
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
13565-905 São Carlos, SP

Resumo: *A engenharia química brasileira reúne bienalmente professores de todo o país em um encontro patrocinado por sua associação de engenheiros, a Associação Brasileira de Engenharia Química (ABEQ). Esses Encontros Nacionais de Ensino de Engenharia Química (ENBEQ's) permitem, além da reflexão sobre os ensinamentos de graduação e pós-graduação, uma troca de experiências entre as diversas escolas. Uma das disciplinas reconhecidas como críticas durante a década de 90 foi a disciplina de controle de processos e um Grupo de Trabalho foi constituído para apresentar recomendações para as escolas de engenharia. Dessas discussões e das experiências acumuladas pelos corpos docentes dos diversos departamentos que oferecem disciplinas para o Curso de Engenharia Química, resultou, no final dos anos 90, uma proposta curricular modernizadora com a disciplina de Controle de Processos Químicos passando a incluir, além do controle clássico, uma atenção para com o controle digital de processos. No entanto, nos últimos anos, devido à ocorrência de uma aceleração sem precedentes do desenvolvimento científico e tecnológico, envolvendo aspectos relacionados com a informática, qualidade, meio ambiente e segurança, resultou na necessidade de se criar mecanismos nos cursos que permitissem aos alunos egressos saírem preparados para enfrentar os desafios tecnológicos já adotados nas mais modernas indústrias e demandadas pelo desenvolvimento tecnológico industrial. Os cursos da Universidade Federal de São Carlos passam atualmente por um processo de Reforma Curricular, como a maioria das escolas brasileiras. No presente trabalho a experiência do curso de Engenharia Química com a reformulação da disciplina de Controle de Processos Químicos é relatada. Dividida em duas disciplinas de quatro créditos, a disciplina de controle clássico é abordada primeiramente e o controle digital posteriormente. A novidade da experiência de São Carlos é o ensino do Controle de Processos em Batelada baseado em Receitas. Técnicas de Controle de Eventos Discretos são apresentadas e aplicadas pelos alunos em exemplos da indústria química. Exemplos e resultados dessa experiência estão apresentados no presente trabalho. Na área de controle de processos os alunos formados nestas novas técnicas estão dessa maneira preparados para atuarem não só na indústria química tradicional, mas também nas indústrias farmacêuticas, de alimentos, de biotecnologia e de química fina que operam na maioria das vezes com processos em batelada.*

Palavras-chave: *Ensino de Engenharia Química, Controle de Processos Químicos, Controle de Processos em Batelada, Controle de Supervisão Baseado em Receitas.*

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Engenharia Química se consolidou como área específica de formação em engenharia em virtude das características particulares para a formação do profissional habilitado a atuar nas Indústrias de Processos Químicos. No curso, depois de ter tido uma forte base em matemática, física, química e bioquímica, o estudante é introduzido no núcleo básico de formação tecnológica que compreende as disciplinas de balanço de massa e energia, de termodinâmica química e as disciplinas de fenômeno de transporte (FT) de massa, energia e de quantidade de movimento. O estudo das operações unitárias (OP) e do projeto dos reatores químicos e bioquímicos completa a base tecnológica para o aprofundamento das disciplinas de caráter profissionalizantes. As disciplinas do núcleo de processos químicos e de projeto industriais completam a formação do aluno.

A Engenharia Química é uma das poucas áreas que realiza um Encontro de Ensino com abrangência nacional que tem possibilitado o aprimoramento do currículo dos cursos em todo o país. Com a nova LDB e o fim do currículo mínimo, os cursos vêm promovendo reformas curriculares buscando atender a um novo perfil profissional que tem se revelado importante nos anos mais recentes e tem sido impulsionado por vários fatores. Podemos identificar como vetores para a reformulação curricular, o processo de globalização por que passa a economia mundial, a necessidade de um desenvolvimento sustentável e socialmente justo da sociedade e a entrada paulatina da biomassa como fonte de matéria prima e de energia para a Indústria em substituição gradativa ou em complementação das fontes de origem fóssil.

Entre as mudanças em curso, a tendência à produção flexível de produtos de alto valor agregado, tem se destacado como instrumento de dinamização e crescimento da economia. As indústrias associadas ao processamento petroquímico são indústrias de processo contínuo viabilizadas economicamente pelo ganho de escala na produção. As refinarias e as indústrias petroquímicas fornecedoras de produtos secundários são as empresas típicas de processos contínuos. Já as empresas de química fina, de biotecnologia, do setor alimentício, do setor farmacêutico e do setor de cosméticos, entre outras, normalmente operam em regime de batelada. São essas empresas que buscam cada vez mais produzir de maneira flexível uma gama variável de diferentes e inovadores produtos atendendo a nichos de mercado específicos.

O ensino da disciplina de controle de processos químicos, do núcleo das disciplinas profissionalizantes, tradicionalmente aborda as aplicações do controle “feedback” de processos contínuos. A introdução do controle discreto, ou seqüencial, vem complementar a formação do engenheiro químico em relação aos procedimentos de segurança na partida (ou na interrupção) das plantas químicas de regime contínuo, por exemplo, e principalmente abordar o controle baseado em receitas para as plantas em batelada, típicas da fabricação flexível dos setores mais modernos da atual economia.

O presente trabalho relata a experiência do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos com o ensino do controle automático de processos em batelada. A mudança curricular efetuada e as condições experimentais dos laboratórios desenvolvidos serão abordadas. Os conceitos do controle de processo em batelada por receitas serão apresentados. Será discutida a ementa adotada e exemplos dos problemas propostos aos alunos serão apresentados.

2. MUDANÇAS CURRICULARES

A Universidade Federal de São Carlos através de sua Pró-reitoria de Graduação implantou um processo de reformulação curricular em todos os seus cursos. Para guiar o processo de reformulação o Conselho de Ensino e Pesquisa, CEPE, estabeleceu o perfil profissional do aluno a ser formado na Universidade (Parecer CEPE no 776/2001). Busca-se formar um profissional capaz de: apreender de forma autônoma e contínua; atuar inter/multi/transdisciplinarmente; pautar-se na ética e na solidariedade enquanto ser humano, cidadão e profissional; gerenciar e/ou incluir-se em processos participativos de organização pública e/ou privada; empreender formas diversificadas de formação profissional; buscar maturidade, sensibilidade e equilíbrio ao agir profissionalmente; produzir e divulgar novos

conhecimentos, tecnologias, serviços e produtos e comprometer-se com a preservação da biodiversidade no ambiente natural e construído, com sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida.

Atualmente a iniciativa da Câmara de Graduação do CEPE está voltada para o estabelecimento do perfil profissional das várias carreiras, em particular do engenheiro a ser formado pela UFSCar. O processo de reformulação do Curso de Engenharia Química está em pleno andamento com a definição do projeto pedagógico que embasa a reformulação pretendida. Uma iniciativa pioneira do curso foi implantar, já há cinco anos, alterações curriculares que têm servido como base para o estabelecimento da reformulação, que ao final do processo em curso, será implementada juntamente com os demais cursos de graduação da Instituição.

A principal das alterações já em andamento foi a implantação da disciplina Desenvolvimento de Processos Químicos como relatada por BADINO Jr et al.(2003). Trata-se de uma disciplina tutorial dividida em dois semestres, cobrindo o quarto ano do curso, em que problemas abertos são propostos a grupos de cerca de cinco alunos tutorados por um professor, visando o desenvolvimento de uma operação de um processo adotado. Duas turmas de trinta alunos, totalizando seis grupos em conjunto com seis professores tutores, acompanham seminários de especialistas, realizam visitas á unidades industriais e apresentam e acompanham os seminários sobre os assuntos específicos que estão sendo abordados. Atualmente o processo de produção de álcool e açúcar vem sendo estudado com várias Unidades de Processo sendo pesquisadas. No primeiro semestre os alunos em grupo definem o seu plano de trabalho que será implementado no segundo semestre da Disciplina. Para a efetivação dessa disciplina foi construído o Laboratório Aberto de Processos, com financiamento do PADCT/CAPES, num projeto coordenado por SILVA, E.L. e ARAUJO, E.C.C (1998). Nesse laboratório estão disponíveis duas unidades experimentais automatizadas, um reator com camisa de aquecimento ou resfriamento com banho termostaticado e uma coluna de destilação instrumentada e controlada por micro-computador.

A disciplina de Controle de Processos Químicos, que no antigo “currículo” era dada em seis créditos, foi reformulada para compor duas disciplinas de quatro créditos dadas no segundo semestre do quarto ano e no primeiro do quinto ano, quando o aluno já se encontra realizando seu estágio industrial. A disciplina Controle de Processos 1 aborda o Controle “feedback” clássico e a disciplina Controle de Processo 2 aborda o controle seqüencial e as técnicas de controle avançado.

Para essas disciplinas foi construído um laboratório de automatização de processos composto por um sistema SCADA (Controle Supervisório e de Aquisição de Dados) baseado em três PLC (Controladores Lógicos Programáveis) em rede com cinco micro-computadores de monitoramento. Foram instrumentadas e automatizadas cinco experiências do curso: uma experiência de condução de calor em regime transiente em aletas, uma experiência com um trocador de calor de placas, experiências com um reator químico e com um bioquímico e uma experiência de controle de nível. O projeto foi também financiado pelo PADCT/CAPES, tendo sido relatado por ALMEIDA, (1998), com resultados experimentais recentemente publicados na revista *Chemical Engineering Education* por BADINO Jr., et al.(2004) para a experiência com o reator bioquímico.

Desse modo os alunos estão em contato e realizam experimentos com equipamentos modernos que vão encontrar no meio industrial a que se vincularão após a formação e que começam a ter contato em seus estágios mesmo durante sua formação acadêmica.

3. O ENSINO DE CONTROLE DE PROCESSOS QUÍMICOS EM BATELADA

O ensino da disciplina de controle de processos químicos foi subdividido em duas disciplinas de quatro créditos, nas quais são tratados os tópicos de interesse para a formação atualizada do engenheiro químico, principal responsável pelo desenvolvimento do processo químico e pela segurança da indústria química. Na primeira são oferecidos tópicos que cobrem o controle clássico de processos, com ênfase no projeto do controle “feedback” de processos contínuos. Na segunda disciplina são introduzidas as técnicas de controle seqüencial e discreto típicas dos processos em batelada e também fundamentais para a

compreensão do funcionamento seguro das plantas contínuas. O conhecimento do controle de processos em batelada vem se estabelecendo recentemente em grande parte pela ação de sociedades de profissionais como o Fórum Mundial de Batelada, WBF (*World Batch Forum*), organização sem fins lucrativos e voltada para o aprimoramento e o desenvolvimento dos profissionais da área. Os principais conceitos abordados no ensino da disciplina serão então apresentados.

3.1 A planta em batelada

Os processos industriais de produção e manufatura podem ser genericamente classificados como contínuos, discretos ou em batelada. A classificação depende principalmente da forma de saída do processo produtivo. A saída de um processo contínuo é um fluxo contínuo de um produto sólido, líquido ou gasoso. As saídas de um processo discreto são unidades (peças) individuais ou grupos de unidades individuais. Já a saída de processos em batelada compõe-se de lotes ou quantidades fixas de materiais. O produto produzido por um processo em batelada é chamado também de uma batelada.

Em 1995, a norma S88.01 (ANSI/ISA) definiu a batelada como:

Batelada é um processo para a produção de quantidades finitas de material, pelo processamento de quantidades finitas de matérias primas submetidas a uma seqüência ordenada de operações dentro de um período finito de tempo, usando um ou mais equipamentos.

3.2 Plantas Multiproduto x Multipropósito

Quando os produtos fabricados numa mesma planta são similares, é frequentemente conveniente produzi-los seqüencialmente, em um conjunto de operações unitárias e equipamentos combinados para executar tarefas seqüenciais do processo. Somente um produto é processado a cada tempo em uma unidade de processamento e todos os diferentes produtos que podem ser fabricados na planta seguem essencialmente o mesmo caminho ou seqüência de unidades através da planta, definindo a configuração *multi-produto*. Já uma configuração é dita *multipropósito* quando as exigências de processamento forem mais diversificadas e os produtos puderem ser feitos através de diferentes rotas e tempos, dependendo do tipo, podendo também ser fabricado mais de um produto na mesma planta no mesmo período. A grande vantagem de plantas dessa natureza está concentrada na maior flexibilidade produtiva.

3.3 Configuração de Linhas de Produção

Planta dedicada ao fluxo (*Flow Shop*): plantas que operam neste regime têm como característica um fluxo de trabalho unidirecional. Esta configuração produz altos volumes de produtos padronizados. Os equipamentos desta planta são específicos, os operadores são pouco especializados e capazes de fazer poucas tarefas. Os produtos seguem um mesmo fluxo de operações e esta seqüência determina a constituição do *layout*

Planta dedicada à tarefa (*Job Shop*): nesta configuração a planta produz baixos volumes de produtos altamente especializados. Nestes sistemas os trabalhadores precisam ser suficientemente habilitados para fazer uma variedade de produtos, os equipamentos devem ser universais e cada tarefa segue o seu próprio roteiro ou caminho através do *layout*. O *layout* funcional ou especificado por processo é típico neste arranjo.

A combinação de um arranjo industrial multiproduto e de uma planta em batelada estruturada em rede é a estrutura mais flexível e potencialmente mais lucrativa de organização de uma planta. Mas é também a mais difícil de ser controlada automaticamente.

A produção baseada em receitas é adequada para uma produção flexível baseada em pedidos diferenciados de diferentes clientes. Ultimamente, portanto, o controle e o processamento em batelada tem recebido interesse crescente no meio industrial do mundo todo.

3.4 Controle de Processos em Batelada baseados em receitas

Controle baseado em receita pode ser visto como um tipo especial de controle seqüencial. O controle seqüencial é importante não somente na produção em batelada, mas também para as indústrias de processo contínuo ou as de processo discreto, como as do setor metal-mecânico. Todas as indústrias têm dispositivos que devem ser controlados. Esse controle geralmente é feito seqüencialmente, por exemplo, uma válvula para transporte de líquido deve primeiramente ser aberta para depois ser fechada ou uma bomba deve ser ligada e em seguida desligada. A produção industrial tem sua partida, seu modo de funcionamento normal e suas interrupções. Adicionalmente a essas características de operação do processo, na maioria das vezes um processamento em batelada pode ser dividido em etapas ou passos seqüenciais. O controle seqüencial é, portanto, importante tanto no nível local, para controlar um dispositivo como uma válvula localizada na planta, quanto ao nível de supervisão, para controlar os diferentes procedimentos de operação do processamento em batelada.

Projetos de controle em batelada são considerados difíceis e complexos, visto que combinam problemas de processos contínuos com processos discretos. Operações em batelada requerem o controle básico, regulatório e o controle seqüencial lógico dos procedimentos de operação da planta. O processo opera sob o comando de uma receita de controle lógico seqüencial, que é implementada no Controlador ou no Computador Supervisor através da receita básica de gerenciamento do processo produtivo, a fim de conseguir a produção automática do processo. Além disso, os controladores devem ser flexíveis, pois precisam se adaptar num ritmo bastante rápido aos novos produtos que venham a ser lançados no mercado.

A disseminação dos sistemas de controle em batelada e o progresso no controle desse tipo de processo tiveram seu desenvolvimento atrasado pela falta de padrões e de nomenclaturas e terminologias. Nos últimos anos, houve três grandes iniciativas que se propuseram a fornecer uma linguagem comum. A primeira tentativa foi resultado de um *workshop* de controle em batelada, no meio da década de 80, na universidade norte-americana de Purdue, estado da Indiana. A segunda foi feita por NAMUR, [NAMUR, 1992] uma associação de normas européias. A terceira tentativa, que tem sido largamente adotada, foi patrocinada pela divisão de Padrões e Práticas da ISA, a *Instrumentation Systems, and Automation Society*, [o Comitê SP88] em 1995. A norma S88 é dividida em três partes:

PARTE 1, chamada S88.01, [ANSI/ISA-S88.01-1995], trata da nomenclatura dos modelos, das terminologias e da funcionalidade. Esta parte da norma foi aprovada pelo comitê principal da ISA e da ANSI, em 1995.

PARTE 2 trata das estruturas de dados e de linguagens, publicada em 2000.

PARTE 3 trata das receitas e foi editada em 2003.

No IEC (*International Electrotechnical Commission*), em 1997, a primeira parte da norma S88 foi aprovada sem mudanças significativas, fazendo da norma S88.01 um padrão internacional de controle em batelada.

Para o controle da batelada devem-se definir as receitas (instruções de como fazer um determinado produto), quais serão os equipamentos utilizados (operações físicas) e os procedimentos de controle (metodologia adotada para executar as receitas nos equipamentos).

3.5 A Norma ANSI/ISA-S88.01

A primeira parte da norma descreve o Controle em Batelada de dois pontos de vista diferentes: o do processo e o do equipamento. O ponto de vista do processo está representado pelo Modelo de Procedimentos e, normalmente, é a visão dos engenheiros de processo, geralmente dos engenheiros químicos. Já o modelo do equipamento é representado pelo Modelo Físico, traduzindo o ponto de vista do engenheiro responsável pela produção ou do operador do processo.

Modelo Físico: define as relações hierárquicas entre as unidades físicas envolvidas no controle;

Modelo de Procedimentos: é também hierárquico e diz como o processo de produção pode ser subdividido gradativamente em operações e em células de processamento.

O Modelo de Procedimentos, de maior interesse aqui, é subdividido em etapas, como mostrado na Figura 1 e indica a seqüência de operações de processamento:



Segundo a figura 1, no modelo de procedimentos podemos descrever os seguintes níveis:

- **Célula de Processamento**: define a estratégia para efetuar uma ação importante tal como a etapa de reação a partir das matérias-primas. É definido em termos das Unidades de Processo, com suas Operações e suas Fases de Execução. Um exemplo de um procedimento é “Faça pasta de dentes”.
- **Unidade de Processamento**: define um conjunto de operações relacionadas que causam uma seqüência de produção para ocorrer dentro de uma unidade, como: o tanque de mistura de componentes, o reator, a separação dos produtos, etc.
- **Operação de Processamento**: é um agrupamento de fases de execução que define uma seqüência principal, a qual leva o material que está sendo processado de um estado para outro. Uma operação geralmente envolve uma mudança física ou química. Exemplos de operação são: “misture os componentes”, “promova a reação”, “separe os produtos”, etc.
- **Fase de Execução**: é o menor elemento de execução de uma tarefa orientada. Define uma ação independente da seqüência do processamento de ações. Uma fase pode se decomposta em etapas e transições de acordo com o programado no controlador. Exemplo de fase: adicione o ingrediente A ao reator, acionar a agitação, descarregar o reator, etc.

A própria receita de controle não contém informações suficientes para operar uma célula do processamento. Em algum nível do processamento, devem ser associados os procedimentos aos módulos físicos de equipamentos e aos módulos de controle.

As atividades de controle são relacionadas e adaptadas às necessidades reais num ambiente de produção em batelada e dependem de como foram programadas e previstas.

3.6 Linguagens de programação e estados de transição

Em 1993 a IEC (*International Electrotechnical Commission*), através da norma IEC 1131-3, definiu linguagens gráficas e baseadas em instruções para a programação dos Controladores Industriais tornando possível que a programação dos controladores não ficasse restrita aos instrumentistas mais especializados.

A linguagem gráfica Grafcet, desenvolvida pelos franceses e depois adotada mundialmente, é atualmente nos países desenvolvidos bem conhecida e aceita para a programação do controle seqüencial ao nível do controle local. Na padronização da IEC 1131-3, Grafcet é referida como SFC (Cartas de Funções Seqüenciais). Na indústria, Grafcet (ou SFC) é principalmente utilizada para implementação da programação do PLC (Controlador Lógico Programável) no nível local.

O diagrama escada (Ladder Diagram) é outra linguagem bastante difundida entre os instrumentistas da automação industrial, mas hoje já é possível converter uma linguagem na outra, o que permite a utilização do Grafcet (uma linguagem gráfica mais intuitiva) em substituição da programação “Ladder” (linguagem associada ao funcionamento físico dos relés elétricos e, portanto mais especializada).

Não existe uma linguagem ainda plenamente aceita pela indústria para o controle seqüencial ao nível supervisorio. Programação baseada em objetos, como o Java e o C++ têm sido aplicadas em teses acadêmicas, como em JOHNSSON, C. (1999), para desenvolver linguagens gráficas (JGrachart, HLGrachart, etc) que permitam realizar a programação seqüencial dos procedimentos previstos na receita de controle da batelada.

Um grande avanço na programação do controle em batelada foi produzido com a aplicação da norma ISA S88, que prevê a necessidade de programação de vários modos de operação de uma planta em batelada como representados na figura 2.

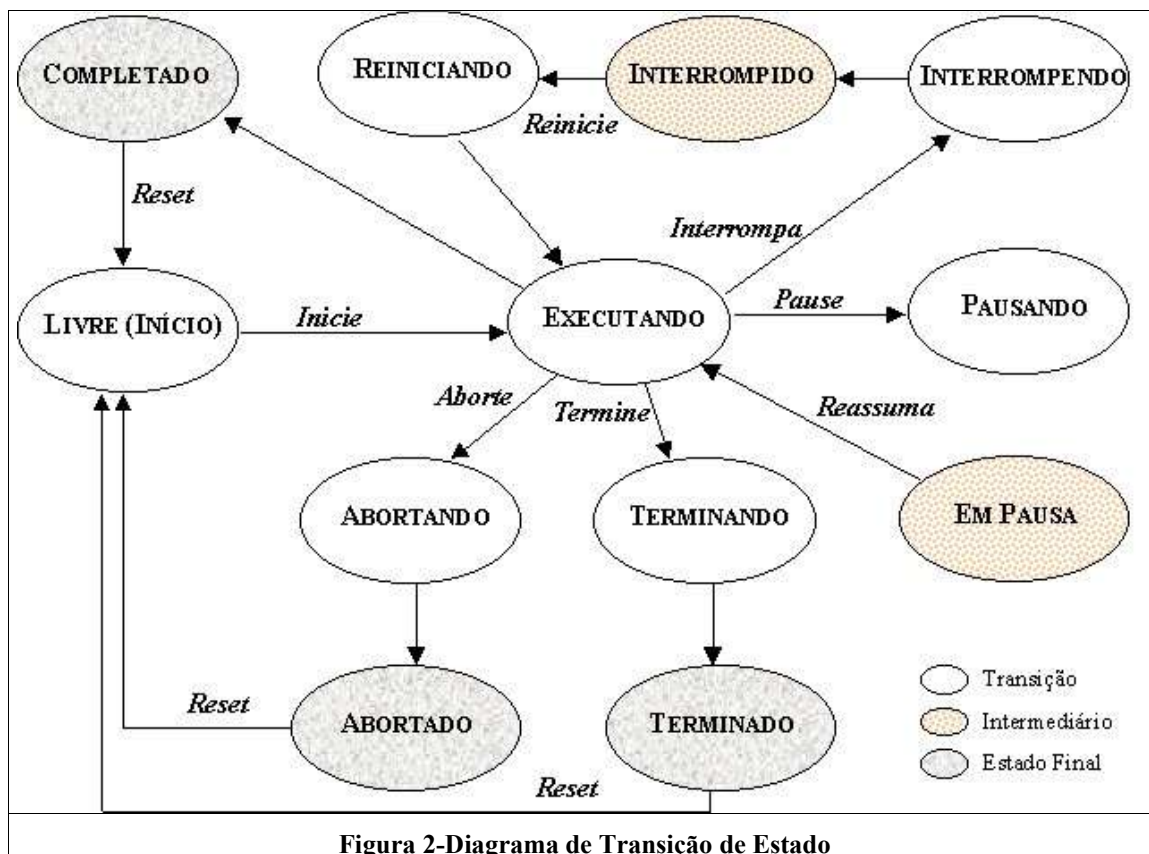


Figura 2-Diagrama de Transição de Estado

4. MODULARIZAÇÃO DO PROCESSO EM BATELADA

A fig. 3 apresenta um processo típico de transporte de matéria prima por gravidade para aplicações do conceito de modularização como proposta por ALMEIDA, 2003.

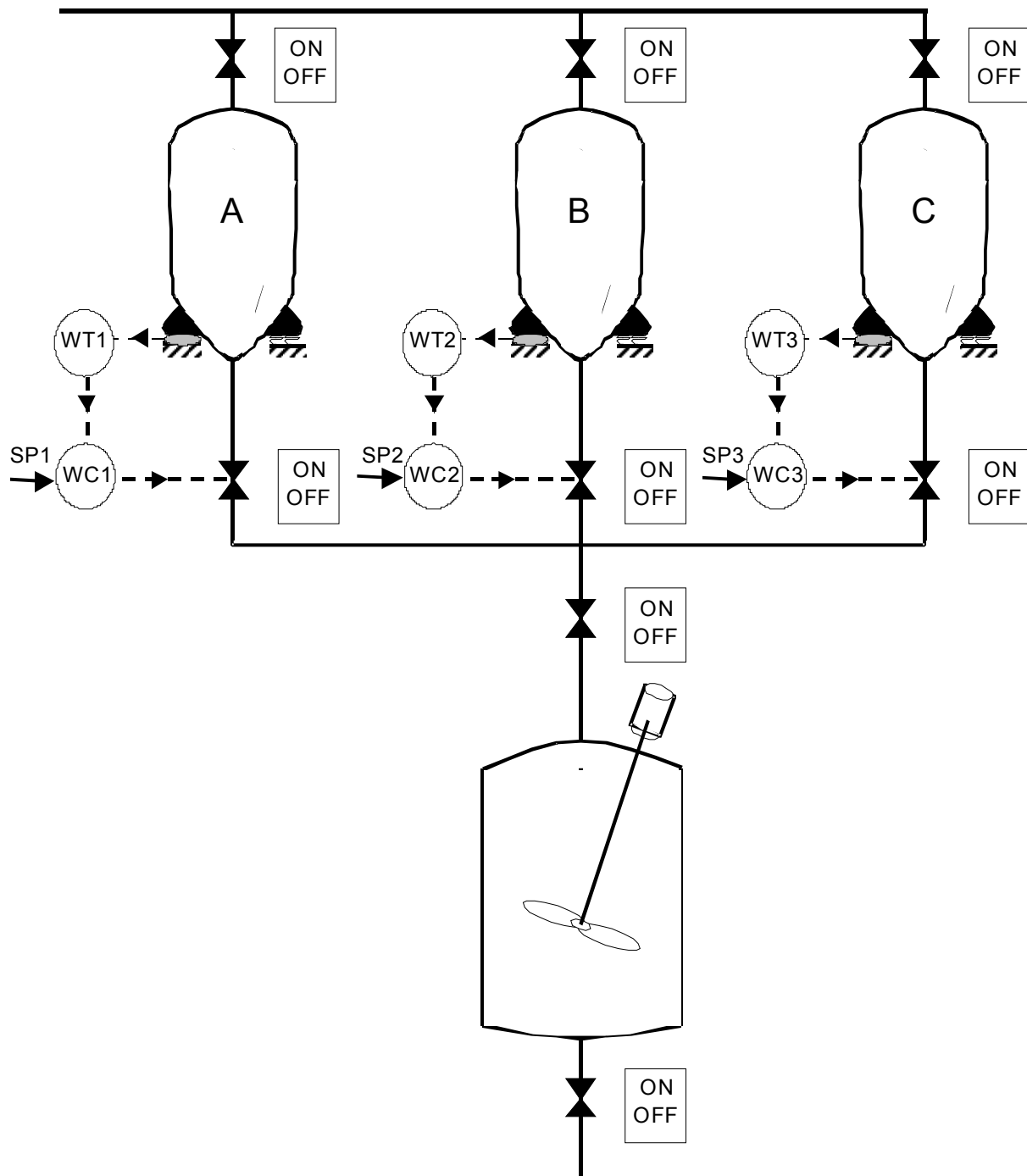


Fig. 3 – Um tanque de mistura em batelada com um módulo de transferência de matéria prima por gravidade

Métodos para a modularização do processo estão ainda em desenvolvimento. Uma preocupação básica para o engenheiro químico é realizar o processo de modularização da planta de modo a preservar a sua operação segura. A norma S88.01 não traz recomendações de procedimentos neste assunto, embora reconheça a sua importância para o funcionamento adequado da planta química. Um grupo de profissionais franceses, LEBOURGEOIS et al., na conferência europeia do WBF em 2000, propôs a metodologia ASTRID de análise de fluxos para determinar a melhor estruturação do processo considerando a operação segura da planta.

Um exemplo da aplicação desse procedimento foi apresentado por ALMEIDA, 2003, para as condições brasileiras. O transporte por gravidade é muito utilizado pelas empresas brasileiras. As matérias primas chegam ao nível superior se a construção assim o permite ou são bombeadas ao topo dos silos de armazenagem. Na fig.3 estão representados um tanque de mistura e um módulo de um equipamento de transporte por gravidade associado aos módulos de controle correspondentes.

Aqui temos que bombear a matéria prima ao topo dos silos que são controlados por células de carga (WT) associadas a um controlador comparador de peso que comanda as válvulas de bloqueio.

Aplicando os conceitos de operação segura de acordo com a metodologia ASTRID teremos que considerar as seguintes situações.

Temos que transferir três ingredientes (A, B e C) ao tanque de mistura em batelada e temos que carregar os três silos bombeando os materiais correspondentes até eles. Podemos identificar seis Entidades de Equipamentos (EEs):

- Tubulação de alimentação (Módulo de Equipamento com seus agregados, bomba e totalizador)

- Silos A, B, C (Módulos de Equipamentos nesta Célula de Processamento)

- Tubulação de transferência entre os silos de ingredientes A, B, C e a Unidade de Batelada (Módulo de Equipamento de carga de matérias primas por gravidade)

- Tanque de Mistura (a Unidade dessa Célula de Processamento).

Arranjando essas EEs em trajetórias de fluxo, nós obtemos as seguintes fases genéricas de movimentação, *Fase_Movimentar_Ingrediente*:

- FA: *Carregue("Fill")* o Silo A

- FB: *Carregue* o Silo B

- FC: *Carregue* o Silo C

- TA: *Transfira* Ingrediente A para o Tanque de Mistura.

- TB: *Transfira* Ingrediente B para o Tanque de Mistura.

- TC: *Transfira* Ingrediente C para o Tanque de Mistura.

A fase TA transfere o ingrediente A ao tanque de mistura e aciona (abre) VSA (válvula de saída no silo A) e VEU (válvula de entrada na unidade). Podemos notar que na execução da programação da fase ao usar a linha de transferência por gravidade devemos fechar primeiro VSA e depois de um tempo de retardo fechar VEU para permitir a limpeza da linha de transporte. As válvulas nas fronteiras dessa trajetória de fluxo deverão ser travadas ("locked") pois a posição à montante ("upstream") ou à jusante ("downstream") desses dispositivos de controle estão alocados para outras fases. Então VEA, VSB, VSC e VSU deverão ser travadas ("locked"), mas VEB e VEC estarão livres, pois não estão na fronteira da trajetória de fluxo dessa transferência. Então podemos executar as fases FB ou FC enquanto a fase TA é executada, se os silos B ou C estiverem vazios após algumas bateladas.

Este layout proposto fornece linhas de transferência independentes com seus transmissores de peso agregados, mas para obter operações de transferência simultâneas de modo seguro, deveríamos agregar duas válvulas a mais e produzir linhas de transferências independentes cada qual com suas válvulas de bloqueio na saída do silo e na entrada da unidade, seguindo as recomendações da metodologia ASTRID. Nesta situação executar as fases FA, FB e FC podem ser realizadas durante a execução da fase de *Mistura* depois da execução de todas as fases de *Transferência* terem sido executadas.

Para transferir somente um ingrediente por vez, uma escolha melhor seria modificar o layout proposto para ter somente uma célula de carga (WT) localizada na unidade de batelada associada com o módulo de controle de peso que comanda as válvulas de bloqueio na saída dos silos e na entrada da unidade de batelada. Nesse caso deveremos instalar sensores de nível máximos e mínimos nos três silos para comandar as fases de carregamento dos silos. Essa certamente é uma solução menos cara.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino da disciplina de controle de processos nos cursos de engenharia química brasileiros deve ser atualizado com a inclusão do tópico de controle de processos em batelada baseado em receitas. No presente trabalho a experiência do ensino da disciplina de controle no curso de engenharia química da UFSCar foi relatada e a justificativa de sua atualidade, apresentada.

Agradecimentos

O autor agradece aos profissionais do WBF, *World Batch Forum*, pela possibilidade de aprendizagem compartilhada que estimulou a implantação do curso de controle de processos em batelada na UFSCar, através dos exemplos e tutoriais desenvolvidos em seus Congressos Mundiais. O autor é membro do comitê educacional do WBF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P.I.F., The Factory of the Future: A Special Training Program. In: International Conf. on Engineering Education- ICEE-98, Rio de Janeiro, Brazil; **Proceedings CD Rom** (1998)

ALMEIDA, P.I.F., How to Establish a Batch Best Practice. In: World Batch Forum North American Conference, 2003, Woodcliff Lake, N.J., USA; **Proceedings CD Rom** (2003)

ANSI/ISA-S88.01-1995, **Batch Control, Part 1: Models and Terminology**. ISA, North Carolina, USA, 1995.

BADINO JR.,A.C., A. J. G. CRUZ, E. L. SILVA, E. A. URQUIETA GONZÁLES, E. C. C. ARAÚJO, J. M. ASSAF, J. M. C. BUENO, J. B. BAUMGARTNER, L. F. de MOURA, P. I. F. de ALMEIDA, R. DE C. GIORDANO, R. de L. C. GIORDANO e T. C. ZANGIROLAMI, Laboratório Aberto de Processos Químicos – Uma Nova Metodologia de Ensino. In: COBENGE, 2003, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais CD Rom** (2003)

BADINO JR.,A.C., A. J. G. CRUZ & P.I.F. ALMEIDA, Agitation and Aeration, An Automated Didatic Experiment. **Chemical Engineering Education**. London, Spring Edition, 2004.

JOHANSSON, C., **A Graphical Language for Batch Control**.1999. PhD Thesis. Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1999.

LEBOURGEOIS, F., J.M. RAYON & J. VIEILLE, A Flow Stream Approach for Process Cell Modularization. In: World Batch Forum European Conference, 2000; **1994-2002 WBF Conference Proceedings, CD Rom** (2003)

NAMUR (1992), Requirements for Batch Control Systems, (tradução inglesa do original alemão)

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

BATCH PROCESS CONTROL IN CHEMICAL ENGINEERING EDUCATION

Abstract: *The application of Recipe-Based Batch Control is presented. The Brazilian Chemical Engineering Courses are stimulated to apply batch control at their curricula to attend the industrial demand for modernization. The experience of Chemical Engineering Course at Federal University of Sao Carlos is presented and discussed.*

Key-words: *Chemical Engineering Education, Chemical Process Control, Batch Process Control, Recipe-Based Batch Supervision Control*