

Aula 1: Conceitos Fundamentais

Prof. Gabriel de Castro Fonseca (DQBIO/UFSJ)
Instrumentação e Controle de Bioprocessos

Contextualização

O que é e para que serve o controle de processos?

Processos químicos e bioquímicos industriais envolvem um conjunto ordenado de transformações da matéria em ambientes bem controlados onde ocorrem operações unitárias como mistura ou separação de matéria, reações, trocas de energia, etc.

Cada equipamento em um bioprocessamento é projetado para funcionar sob condições bastante específicas. Na Figura 1, por exemplo, um trocador de calor visa levar a temperatura de uma corrente de T_0 até T . Um biorreator *downstream* precisa ser alimentado a essa temperatura para gerar produto a concentração C_p . Uma coluna de extração líquido-líquido a jusante do biorreator foi projetada para separar o produto usando uma vazão F_s de solvente. Se, por acaso, a temperatura da corrente inicial for diferente do valor T_0 esperado, não apenas a formação de produto pode ser menor que a desejada, como também é possível que o solvente seja desperdiçado.

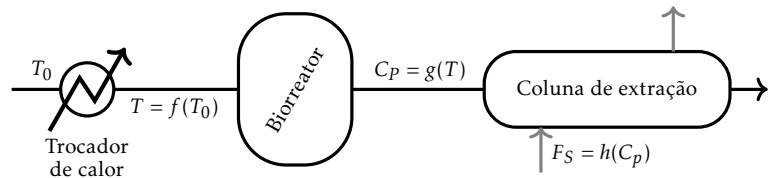
Esse exemplo demonstra como muitos fenômenos em um processo são interligados. Num mundo ideal, um projeto sempre funcionaria exatamente como gostaríamos, com todos as variáveis de processo em seus valores ótimos e no estado estacionário. No mundo real, todavia, nenhum processo é completamente estacionário. O tempo todo acontecem variações nos valores das variáveis de processo, grandes ou pequenas, aleatórias ou intencionais. Em todo processo industrial precisamos, portanto, compreender seu comportamento dinâmico e saber controlá-lo. Chama-se de **controle de processos** ao conjunto de técnicas e teorias que nos permitem interferir em um processo para mantê-lo ou levá-lo até uma condição desejada.

O controle de processos atualmente está intimamente ligado com a automação industrial. Isso tem pontos positivos e negativos: por um lado torna as fábricas mais lucrativas, ecológicas e seguras, tira pessoas de tarefas sistemáticas e repetitivas. Por outro lado, ela também tem tirado empregos, talvez a um ritmo mais alto do que a sociedade é capaz de criar. Não há dúvidas, porém, de que a automação é fundamental para uma indústria moderna se manter competitiva em um mercado global e o engenheiro de bioprocessos deve entender os conceitos básicos dessa disciplina para poder elaborar lado a lado com engenheiros de controle e automação as estratégias mais eficientes para controlar um processo industrial.

Sistemas de controle

Como se controla um processo?

Figura 1: Exemplo de bioprocesso.



O objetivo do controle de processos é fazer com que um sistema funcione da maneira desejada. É possível, portanto, se pensar em duas situações nas quais o controle seria necessário:

- Quando um processo já está inicialmente no estado desejado, queremos *manter* ele assim. Esse tipo de problema é chamado **regulador**.
- Quando um processo não está inicialmente no estado desejado, queremos *levar* ele até lá. Esse tipo de problema é chamado **servo**.

Problemas tipo regulador geralmente ocorrem quando um processo já está em andamento aproximadamente no estado estacionário e queremos eliminar variações aleatórias que possam tirá-lo desse estado. Essas variações são chamadas *distúrbios* ou *perturbações*.

Problemas tipo servo geralmente ocorrem durante a inicialização de um processo, por exemplo, após uma parada para manutenção. Também pode acontecer quando decidimos modificar o estado desejado de um sistema, também chamado *set-point* ou *valor de referênica*.

Ambos problemas podem existir ao mesmo tempo. De qualquer maneira, há duas abordagens para resolver um problema de controle:

- **Controle em malha aberta** (*open loop*)
- **Controle em malha fechada** (*closed loop*)

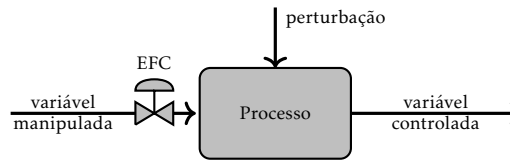
O controle em malha aberta é um controle “às cegas” e paradoxalmente ele dispensa o projeto de um sistema de controle. O controle em malha fechada, por outro lado, depende da observação do sistema e de interação com ele com base nas observações, requerendo um sistema de controle para cumprir essas funções.

Resumo

Problemas de controle

O objetivo do controle é manter (problema regulador) ou levar (problema servo) um processo a um estado desejado.

Figura 2: Esquema básico de sistema malha aberta.



Controle em malha aberta

Como funciona o controle em malha aberta?

Sistemas de controle em malha aberta (Figura 2) se baseiam na manipulação de fluxos de massa ou energia com o objetivo de levar uma variável controlada até um valor desejado, mas nenhuma medida do valor da variável é realizada.

Um exemplo cotidiano é um forno. Em um forno nós usamos um botão giratório para manipular uma válvula que controla a vazão de gás que chega a um queimador. Dependendo dessa vazão, o forno atingirá a uma temperatura final mais alta ou mais baixa.

Quando o fogão não está em uso, o valor desejado para a vazão de gás é zero, afinal não queremos desperdiçar gás e nem explodir nossas casas. Nesse estado, a temperatura no interior do forno é igual à temperatura ambiente. Quando decidimos assar um bolo, mudamos o valor desejado da vazão para um valor que leve a temperatura do forno, por exemplo, para 180 °C. Assar um bolo é um problema do tipo servo.

Geralmente nós temos confiança de que as marcações no botão giratório são relativamente precisas. Mas será que se hoje a temperatura ambiente é 20 °C e amanhã ela for 30 °C, nos dois dias a temperatura dentro do forno será igual? Certamente se o forno estivesse em Vênus, onde faz mais do que 450 °C, a temperatura ambiente seria um fator importante.

Comparando nosso exemplo com a Figura 2:

- a variável manipulada é a vazão de gás.
- o EFC (elemento final de controle) é a válvula de gás, acionada pelo botão giratório.
- o processo é a combustão de gás.
- a variável controlada é a temperatura no forno.
- uma possível perturbação é a temperatura ambiente, sobre a qual nós não temos controle.

Nosso exemplo envolve controle manual de uma válvula, mas o controle em malha aberta também pode acontecer de forma automática, obedecendo a um cronômetro, por exemplo. É o que acontece em uma máquina de lavar, que executa a mesma sequência de operações independente do estado das roupas.

Quais são as vantagens e desvantagens do controle em malha aberta?

Para assar um bolo, uma diferença de $\pm 5^\circ\text{C}$ provavelmente não é muito significativa, então a temperatura ambiente faz pouca diferença. Para uma fermentação, por outro lado, essa variação pode ter um impacto muito grande na velocidade e no rendimento da reação.

Além disso, existe a possibilidade de o forno estar desregulado. E se, enquanto pensamos que a temperatura em seu interior é 180°C , na verdade ela for de 200°C ? Seria interessante se pudéssemos medir a temperatura no interior do forno e ajustar a vazão de gás na válvula automaticamente de modo a deixá-la no valor desejado. Essa é a ideia do controle em malha fechada, como discutiremos mais adiante.

A grande vantagem do controle em malha aberta é que ele é simples e barato. Não precisamos de instrumentos de medida, não precisamos de controladores e por consequência, não precisamos programar como esses controladores vão interagir com o sistema.

A desvantagem, obviamente, é que não temos garantia de que a variável controlada estará exatamente no valor desejado no caso de uma circunstância imprevista, como um distúrbio interferir no processo ou algum equipamento não estar funcionando corretamente. Assim sendo, o controle malha aberta é usado preferivelmente em processos que são pouco sensíveis a perturbações nas condições mais usuais em que ele ocorre. Ninguém espera, por exemplo, que alguém vá levar seu forno para Vênus e tente assar um bolo por lá.

Controle em malha fechada

Como funciona o controle em malha fechada?

Examinando as vantagens e desvantagens do controle em malha aberta, deve ter ficado claro em que circunstâncias é preferível adotar uma estratégia de controle em malha fechada.

Diferentemente do controle em malha aberta, em que definimos as variáveis manipuladas sem ter nenhuma informação sobre o estado atual do processo, no controle em malha fechada essas informações são fundamentais para se definir as variáveis manipuladas.

Existem vários tipos de controle em malha fechada, o mais comum é o controle por realimentação (*feedback*), ilustrado na Figura 3. Juntamente com o controle em malha aberta, essa será a estratégia de controle mais estudada ao longo desta disciplina (para projetar um sistema de controle malha fechada é preciso estudar o comportamento dinâmico do sistema sem controle, em malha aberta). Uma alternativa ao controle por realimentação é o controle da alimentação (*feedforward*), mostrado na Figura 4.

Figura 3: Esquema básico de sistema malha fechada de controle por realimentação.

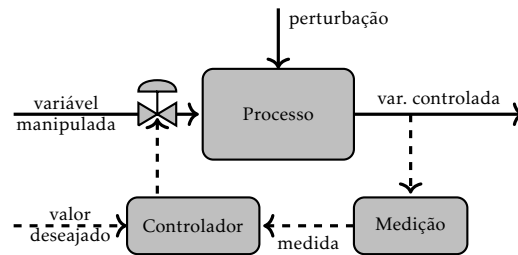
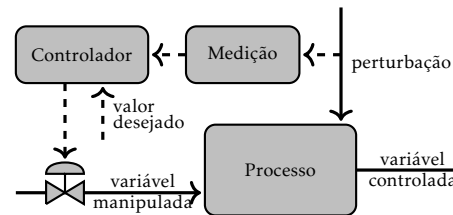


Figura 4: Esquema básico de sistema malha fechada de controle da alimentação.



Qual a diferença entre controle por realimentação e controle da alimentação?

No controle por realimentação o valor da variável de processo controlada é medido e comparado ao valor desejado para essa variável. Com base na diferença entre esses dois valores, o controlador manda um sinal para o elemento final de controle alterar o valor da variável manipulada visando reduzir a diferença entre o valor medido e o valor desejado para a variável controlada.

No controle da alimentação, também chamado de antecipativo, em vez de medir a variável controlada, mede-se uma potencial perturbação do sistema e o controlador tenta ajustar a variável manipulada de forma a compensar o efeito da perturbação antes de ela afetar o processo.

Se o controle da alimentação for factível, ele é muito vantajoso, pois previne mudanças significativas no estado do sistema, em vez de apenas corrigi-las. A desvantagem do controle da alimentação é que ele requer que conheçamos todas as perturbações possíveis e saibamos exatamente como elas afetam o processo e de que maneira podemos compensá-las. O projeto do controle da alimentação é, portanto, muito mais complicado que o do controle por realimentação.

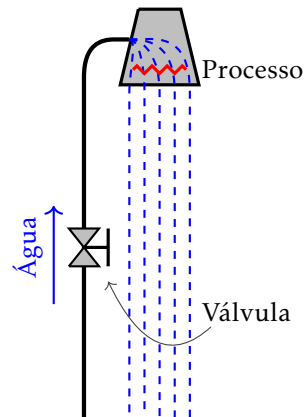
Resumo

Técnicas de controle

Há duas abordagens para o controle: malha aberta, que se baseia no conhecimento do comportamento dinâmico do processo; e malha fechada, que se baseia em medidas e interferência no processo.

Como funciona o controle por realimentação?

Figura 5: Exemplo de processo malha fechada: chuveiro elétrico.



Vamos considerar outro exemplo do cotidiano onde se aplica o controle de processos: o aquecimento de água em um chuveiro elétrico (Figura 5).

Quando você chega em casa, cansad@ por assistir a uma aula de Instrumentação e Controle de Bioprocessos, geralmente quer tomar um bom banho quente para relaxar.

Geralmente, a primeira coisa que você faz depois de ligar o chuveiro é colocar a mão ou o pé embaixo da água para sentir se a temperatura está adequada.

Se a água estiver muito quente, você gira o registro do chuveiro no sentido de aumentar a vazão de água. Se estiver muito fria, você reduz a vazão de água. Somente quando a temperatura da água está agradável você entra embaixo da ducha.

No caso do chuveiro,

- a variável manipulada é a vazão de água.
- o EFC é o registro (válvula) do chuveiro.
- o processo é o aquecimento elétrico da água.
- a variável controlada é a temperatura da água.
- uma perturbação é a temperatura ambiente.
- o instrumento de medida é a sua pele, que transmite uma sensação térmica pelos seus nervos.
- o controlador é o seu cérebro.
- o valor desejado é a temperatura que seu cérebro considera agradável.
- a ação de controle é abrir o registro quando a água está mais quente que o desejado e fechar quando está mais fria.

O controle que você faz da temperatura do chuveiro é por realimentação, pois você atua no sistema após medir a variável controlada.

Como funciona o controle da alimentação?

Para fazer um controle da alimentação no exemplo do chuveiro elétrico, em vez de medir a temperatura da água na saída do chuveiro, você deveria medir a temperatura da água antes de ela passar pelo processo. Para isso você teria que ir até a caixa d'água, medir a temperatura da água lá, e com base nisso calcular a vazão exata de água que seria necessária para a temperatura da ducha ficar ao seu gosto. Para fazer esses cálculos, você precisaria conhecer a capacidade térmica da água, a potência do chuveiro, o coeficiente global de troca de calor entre a água e a resistência do chuveiro, sua área, o tempo de residência da água no chuveiro... E ainda existe risco de esquecer uma variável importante: será que a salinidade ou a dureza da água são relevantes? E se forem, temos instrumentos para medir perturbações nos seus valores?

Se tudo der certo, aplicando o controle da alimentação, você pode entrar no banho sem precisar tocar em água fria. Por outro lado, você precisa acumular várias informações adicionais sobre o sistema que você não precisaria ter investindo no controle por realimentação. E se você esquecer de considerar algo importante, todo seu esforço terá sido em vão. É por isso que o controle por realimentação é muito mais usado, e mesmo quando controle da alimentação é utilizado, ele costuma ser complementado com um sistema por realimentação para eliminar perturbações imprevistas. Existem ainda outras arquiteturas de controle, como controle em cascata, controle de razão e controle seletivo. Essas estratégias serão discutidas brevemente em uma aula futura.

O aquecimento de água em um chuveiro pode ser tanto um problema servo quanto um problema regulador. Se você está abrindo o chuveiro e se preparando para o banho, é do tipo servo, pois você está tentando levar o processo para um estado desejado. Por outro lado, se você demora tanto no banho que a temperatura na caixa d'água variou significativamente, você pode precisar fazer alguns ajustes na abertura da válvula para manter a temperatura da ducha no valor desejado.

Bibliografia

- [1] J.L.L. Alves (2010). Instrumentação, Controle e Automação de Processos, 2ª ed. LTC. Capítulos 1 e 2.
- [2] C. Garcia (2017). Controle de Processos Industriais: Estratégias Convencionais. Volume 1, Blucher. Capítulo 1.
- [3] C.A. Kluever (2018). Sistemas Dinâmicos: Modelagem, Simulação e Controle. LTC. Capítulo 1.
- [4] W.Y. Svrcek, D.P. Mahoney, B.R. Young. (2014). A Real-Time Approach to Process Control. 3rd ed. Wiley. Capítulos 1 e 3