

ELT330 – Sistemas de Controle I

Prof. Tarcísio Pizziolo

Aula 1 – Introdução a Sistemas de Controle

1 – Introdução:

O conceito de controle é intuitivo, pois analisando qualquer atividade controlada, compara-se um valor pré-estabelecido com outro que varia com o tempo. O objetivo do controle está em se reduzir a diferença, ou erro, entre estes dois valores fazendo com que o pré-estabelecido seja a referência.

2 – Histórico:

- James watt (século XVIII): construiu um controlador centrífugo para controle de velocidade de uma máquina a vapor.
- Minorsky (1922): desenvolveu controladores automáticos para pilotagem de navios e estudo da estabilidade a partir de equações diferenciais.
- Nyquist (1932): desenvolveu a determinação da estabilidade de sistemas de malha fechada.
- Hazen (1934): introduziu o termo servomecanismo para sistemas de controle de posição.
- 1940 a 1950: métodos de resposta em frequência com Bode.
- 1950 a 1960: método do lugar das raízes foi completamente desenvolvido por Evans.
- 1960 até hoje: disponibilidade de computadores tornou possível a análise de sistemas complexos no domínio do tempo.

Atualmente desenvolve-se controle ótimo tanto para sistemas determinísticos quanto para sistemas estocásticos e o controle inteligente e adaptativo encontram-se em fase de evolução para aplicação industrial.

3 – Definições:

- Variável controlada: grandeza ou condição que é medida ou controlada.
- Variável manipulada: grandeza ou condição que é variada pelo controlador de modo a afetar o valor da variável controlada.
- Controle: medição do valor da variável manipulada para corrigir ou limitar o desvio do valor medido de um valor desejado.
- Planta: termo que designará qualquer objeto físico a ser controlado (forno, reator, etc...)
- Processo: qualquer operação a ser controlada.
- Sistema: combinação de componentes que atuam conjuntamente e realizam um certo objetivo.
- Perturbações ou distúrbios: um sinal que tente a afetar o valor de saída de um sistema.

4. Projetos de Sistemas de Controle

Para iniciarmos esta disciplina sobre “Sistemas de Controle” iremos inicialmente definir as palavras que compõem o nome da disciplina. O objetivo destas definições é para o entendimento do conteúdo a ser abordado no decorrer do curso.

4.1. Sistema

O termo “Sistema” tem uma etimologia grega “*synistanai*” que significa “funcionamento conjunto”.

Todo sistema possui um objetivo geral a ser atingido. O sistema é um conjunto de componentes funcionais, partes ou elementos e as relações entre eles. A integração entre esses componentes pode se dar por fluxo de informações, fluxo de

matéria, fluxo de energia, enfim, ocorre comunicação entre os órgãos componentes de um sistema.

A boa integração dos elementos componentes do sistema é chamada sinergia, determinando que as transformações ocorridas em uma das partes influenciarão todas as outras. A alta sinergia de um sistema faz com que seja possível a este cumprir sua finalidade e atingir seu objetivo geral com eficiência; por outro lado se houver falta de sinergia, pode implicar em mau funcionamento do sistema, vindo a causar inclusive falha completa, pane, queda do sistema, etc.

Vários sistemas possuem a propriedade da homeostase, que em poucas palavras é a característica de manter o meio interno estável, mesmo diante de mudanças no meio externo. As reações homeostáticas podem ser boas ou más, dependendo se a mudança foi inesperada ou planejada.

Também podem-se construir modelos para abstrair aspectos de sistemas, como por exemplo um modelo matemático, modelos de engenharia de software e gráficos.

Em termos gerais, sistemas podem ser vistos de duas maneiras:

- através da análise, em que se estuda cada parte de um sistema separadamente a fim de recompô-lo posteriormente.
- através de uma visão holista, em que se entende que o funcionamento do sistema como um todo, constitui um fenômeno único, i.e., irreduzível em suas partes.

4.2. Controle

Para as atividades propostas nesta disciplina, a palavra controle refere-se a realização de uma ação a qual permita que um determinado valor de uma variável seja monitorada e permaneça em um valor estável dentro de uma faixa de variação (erro) admissível para o objetivo que se quer alcançar.

Esta ideia de controle de sistemas já era desenvolvida no Egito pelo matemático e engenheiro grego **Ctesíbio** ou **Ktesíbios**, (em grego: **Κτησίβιος**) que viveu entre 285 e 222 a.C. em Alexandria.



Ctesíbio ou Ktesíbios (Κτησίβιος) - 285 e 222 a.C.

Ctesíbio é considerado o fundador da escola de matemática e engenharia de Alexandria onde foi provavelmente o primeiro diretor do *Museu de Alexandria*.

Ktesibius, pelos relatos históricos, inventou o primeiro sistema de controle automático de nível de água similar aos utilizados atualmente.

O sistema de controle de nível de *Ktesibius* mantém o nível constante de água em um reservatório com uma entrada de água na parte superior e uma saída de água na parte inferior. A figura 1 a seguir ilustra o sistema desenvolvido por *Ktesibius*.

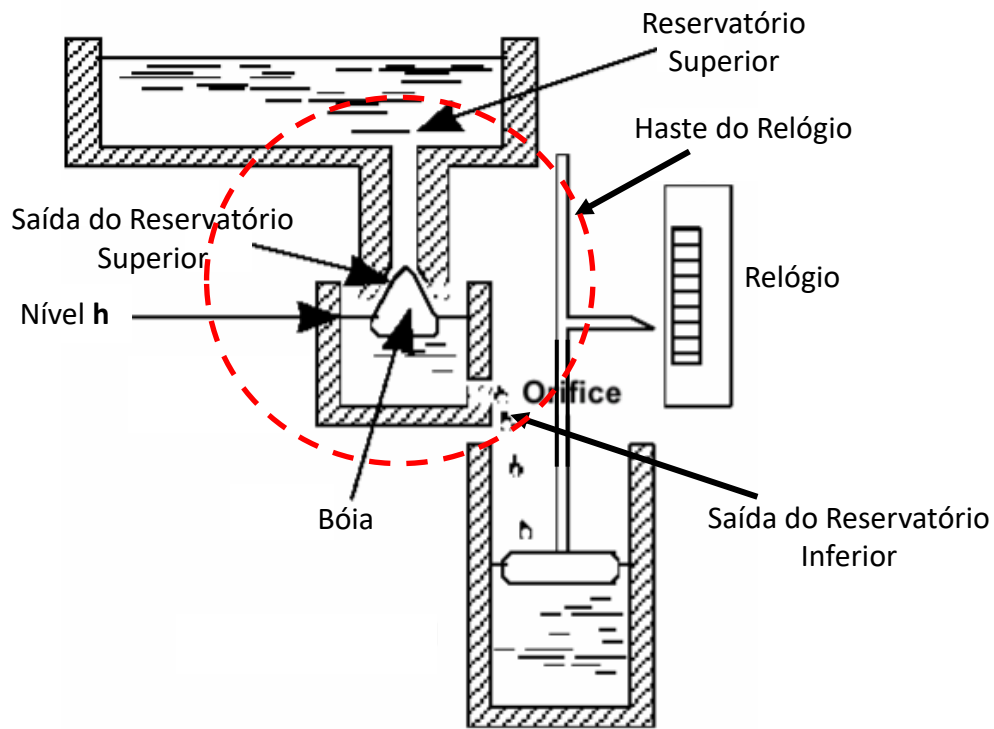


Figura 1

Considerando o sistema dentro do círculo vermelho, se a altura h da água no reservatório inferior for constante, a quantidade de água na saída do reservatório superior é igual à quantidade na saída do reservatório inferior, e a variação da altura da haste do Relógio é constante e ascendente.

Mas à medida que a água escoar para o relógio, o nível do reservatório superior vai diminuindo e a água precisa ser reposta. *Ktesibius* resolveu este problema usando uma boia, que fecha ou libera a entrada de água no reservatório inferior.

Então, quando o nível de água h está baixo, a boia fica baixa e libera a entrada de fluxo de água. À medida que o nível h da água vai aumentando, a boia vai subindo fechando a entrada da água.

Esta é uma versão moderna simplificada dos primeiros sistemas de controle automático de que se tem registro histórico.

5. Respostas de Sistemas

Para que se analise o controle das variáveis de um sistema deve-se monitorar a variação dos valores destas por meio de componentes que consigam apresentar tais variações ao passar do tempo. Estes componentes são denominados de sensores ou transdutores e podem ser mecânicos, eletromecânicos e eletrônicos. Na disciplina Instrumentação Eletrônica foram estudados estes componentes bem como suas aplicações.

Desta maneira, vamos tratar das análises das respostas dos sistemas considerando os valores que os sensores e/ou transdutores fornecem ao passar do tempo. Com os valores fornecidos pelos sensores/transdutores pode-se montar gráficos temporais nos quais a visualização das variações das grandezas a serem controladas são de fácil compreensão.

Seja o esquema de um calorímetro apresentado na figura 2 a seguir. O gráfico 1 representa a variação da temperatura dentro do calorímetro que é aquecido pelo Efeito Joule da resistência energizada por uma fonte de tensão V . A variação da temperatura é medida visualmente por meio de um termômetro e registrada no gráfico ao passar o tempo.

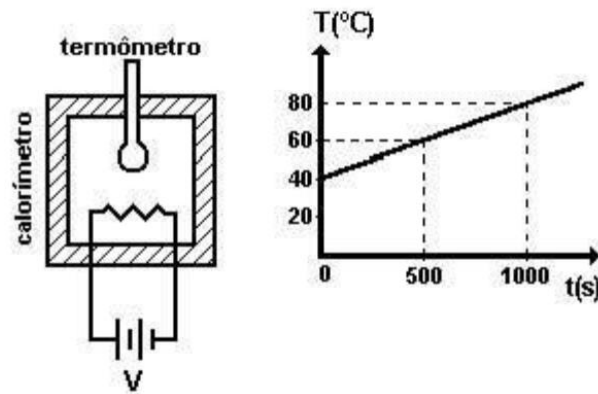


Figura 2

Gráfico 1

Outro exemplo de resposta de sistema é apresentado no gráfico 2 a seguir onde são registradas as variações de temperaturas no interior de 5 fornos.

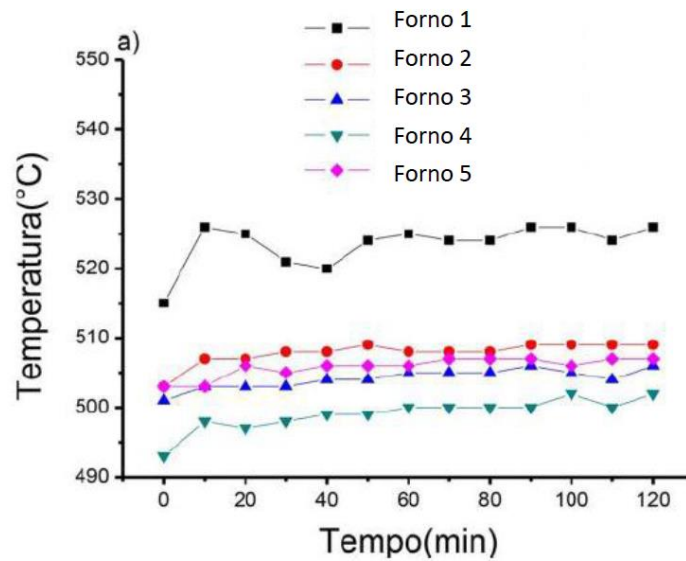
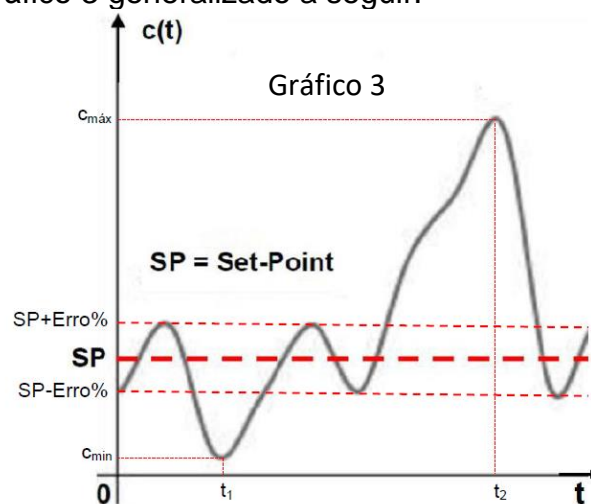


Gráfico 2

Neste caso, as variações das temperaturas são fornecidas por meio de sensores denominados termopares as quais são enviadas a um computador que constrói os gráficos ao passar o tempo utilizando um software aplicativo.

6. Análise de Gráfico de Resposta

Para facilitar a análise e interpretação do comportamento de um sistema é comum generalizar uma função $c(t)$ como resposta no gráfico de saída em função do tempo t . Vejamos o gráfico 3 generalizado a seguir.



Neste gráfico apresentado acima pode-se verificar as variações de $c(t)$ ao longo do tempo t e perceber que existem valores acima e valores abaixo do valor esperado (*Set-Point*) \pm Erro% na resposta. Também se verifica que em t_1 o sistema tem resposta com valor mínimo e em t_2 o mesmo responde com um valor máximo (valor de pico). Nesta simples análise conclui-se que deve-se implementar um sistema de controle para que a resposta $c(t)$ fique em torno do valor esperado $SP \pm$ Erro%. Esta disciplina tem como objetivo principal o projeto de controladores que exerçam tal função no controle de sistemas.

Vamos apresentar um exemplo de análise e interpretação gráfica de resposta de sistema hidráulico.

7. Nível de Líquido

Para a análise de uma grandeza tal como o nível de um reservatório contendo líquido o gráfico da saída em função do tempo representa a altura do nível do líquido no reservatório. A figura 3 a seguir ilustra este sistema.

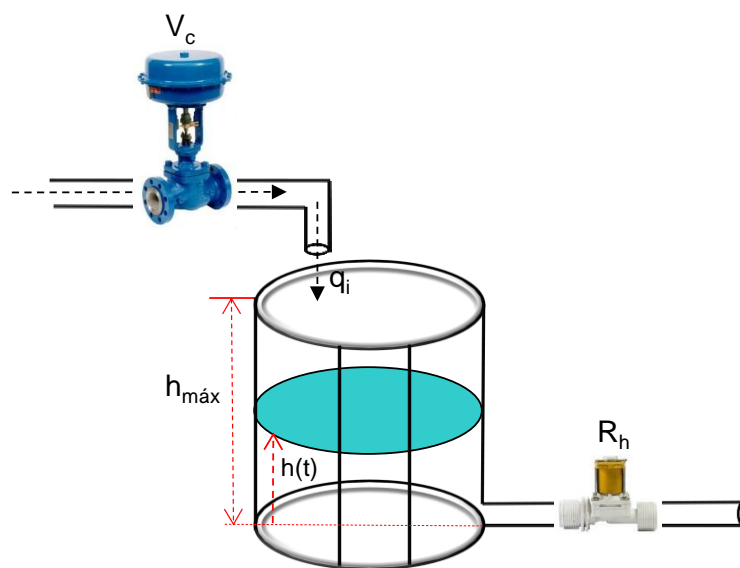


Figura 3

O gráfico 4 é gerado para a resposta deste sistema de controle de nível de líquido no qual o eixo vertical, também chamado de eixo das ordenadas, apresenta a altura h do nível da água em metros e no eixo horizontal, também chamado de eixo das abscissas, apresenta o tempo decorrido em minutos.

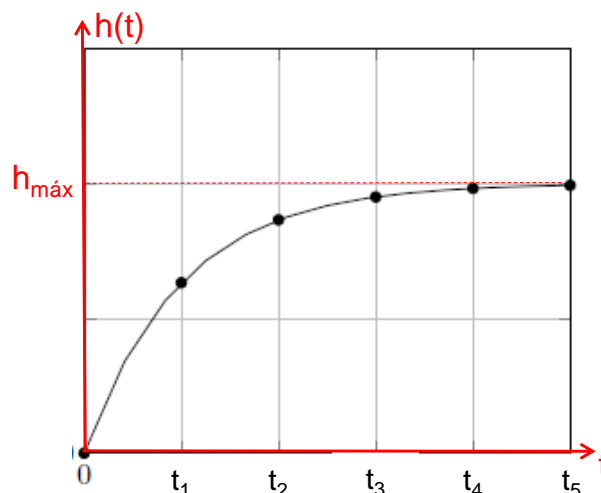


Gráfico 4

Neste caso vemos que o nível do líquido no reservatório varia com o tempo enchendo-o até um valor máximo $h_{\text{máx}}$ considerando que a válvula solenóide R_h esteja fechada e a válvula de controle V_c atue fechando a vazão de entrada q_i até que o nível se estabeleça no valor máximo.

Seja agora a situação em que a válvula solenóide R_h é aberta na saída do reservatório gerando uma vazão de saída q_o e a válvula de controle permaneça fechada com $q_i = 0$ como representado na figura 4.

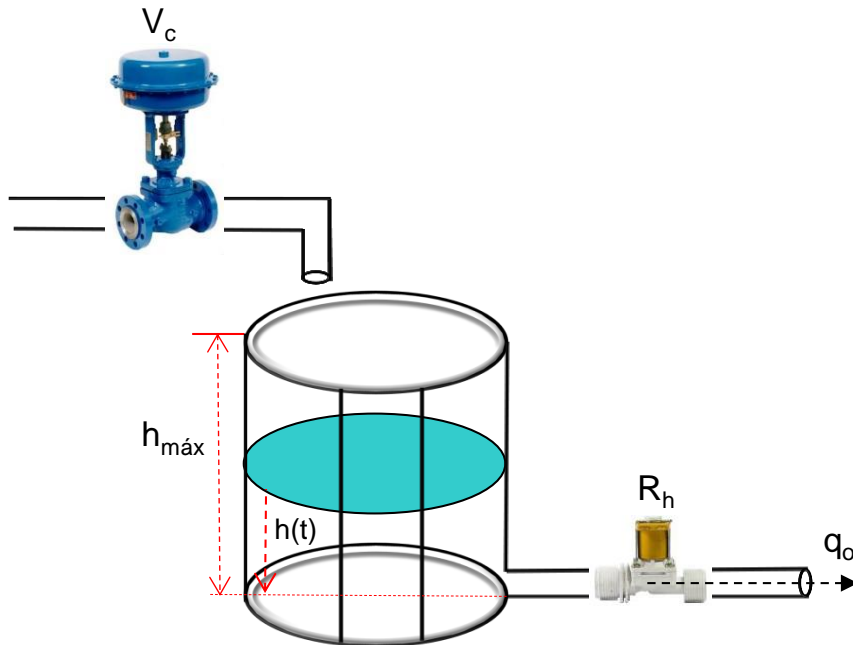


Figura 4

O gráfico 5 representa a diminuição do nível no reservatório para esta situação é apresentado a seguir.

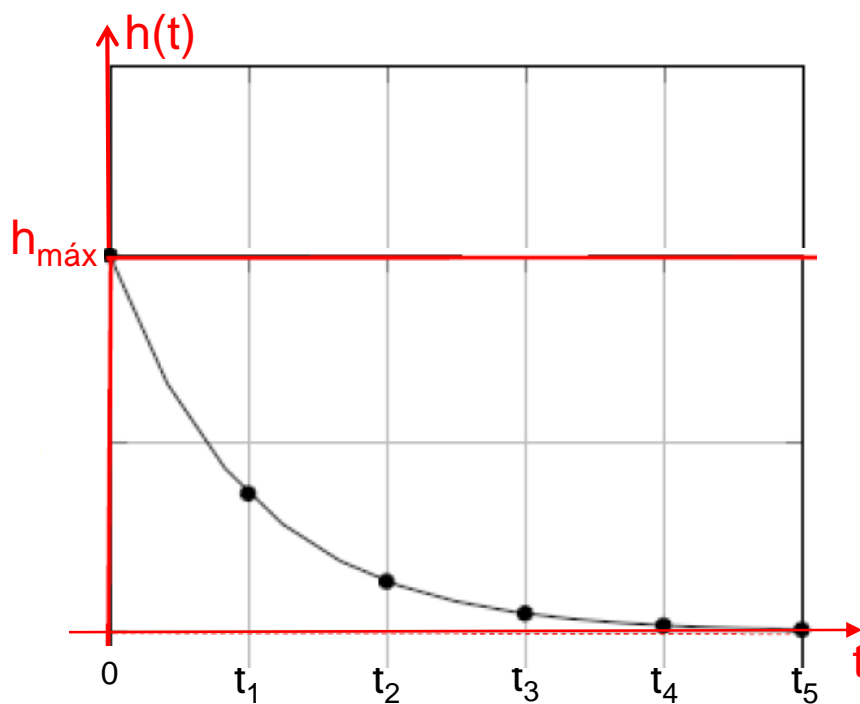


Gráfico 5

No entanto, para uma situação em que se necessite manter o nível do líquido no reservatório em um valor fixo h_f quando a válvula solenóide está aberta, temos que controlar a vazão q_i de entrada de tal forma que ela seja igual à vazão de saída q_o

mais uma vazão que estabeleça o nível h_f no reservatório. A figura 5 apresenta esta situação.

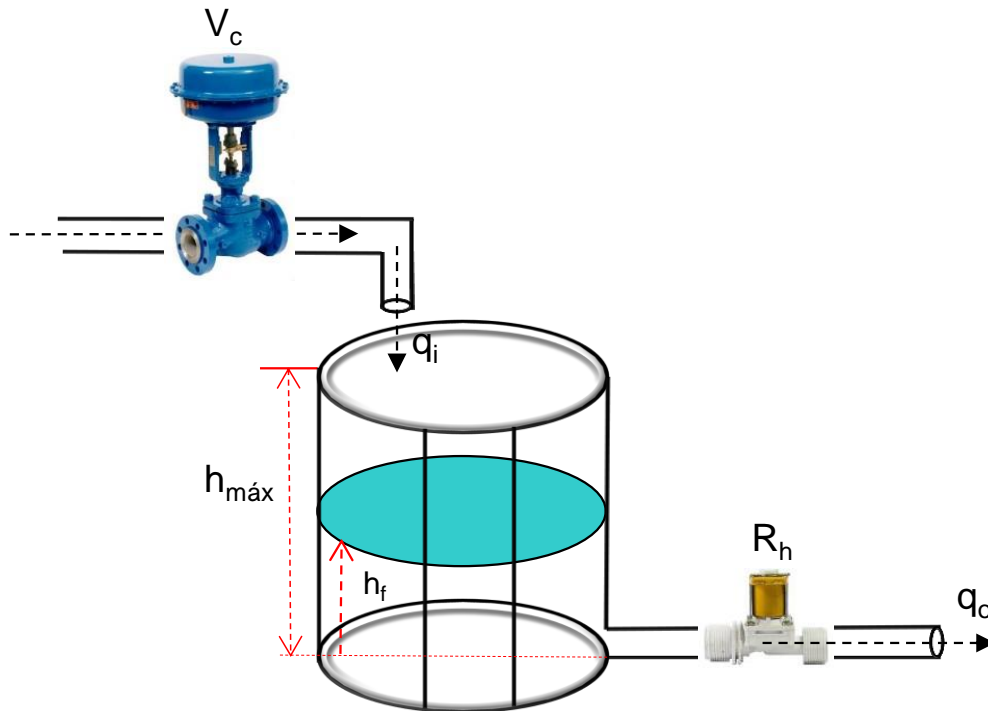


Figura 5

O gráfico 6 representa o controle do nível h no reservatório.

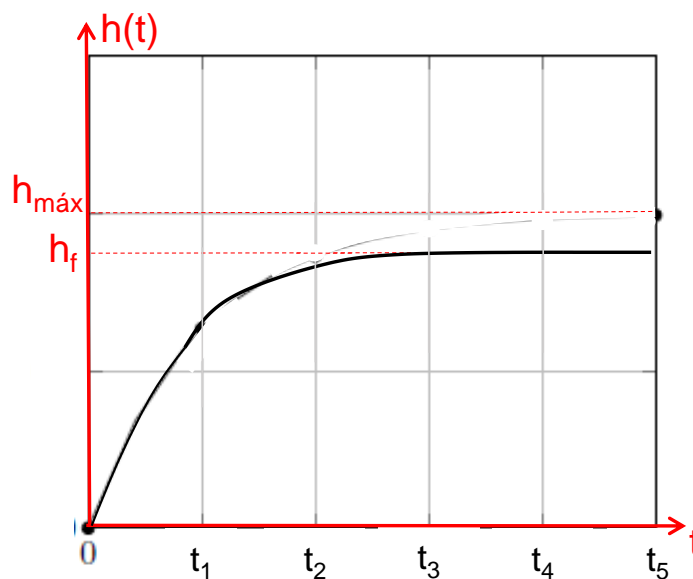


Gráfico 6

Estas análises gráficas nos traduz as respostas dos sistemas a serem controlados. Os sistemas mecânicos, hidráulicos, térmicos ou eletromecânicos são os mais aplicados em controle de processos agrícolas e industriais.

Para as análises das respostas de tais sistemas de controle iremos estudar no decorrer deste curso as respostas ditas transitória e permanente mostradas no gráfico 7 a seguir.

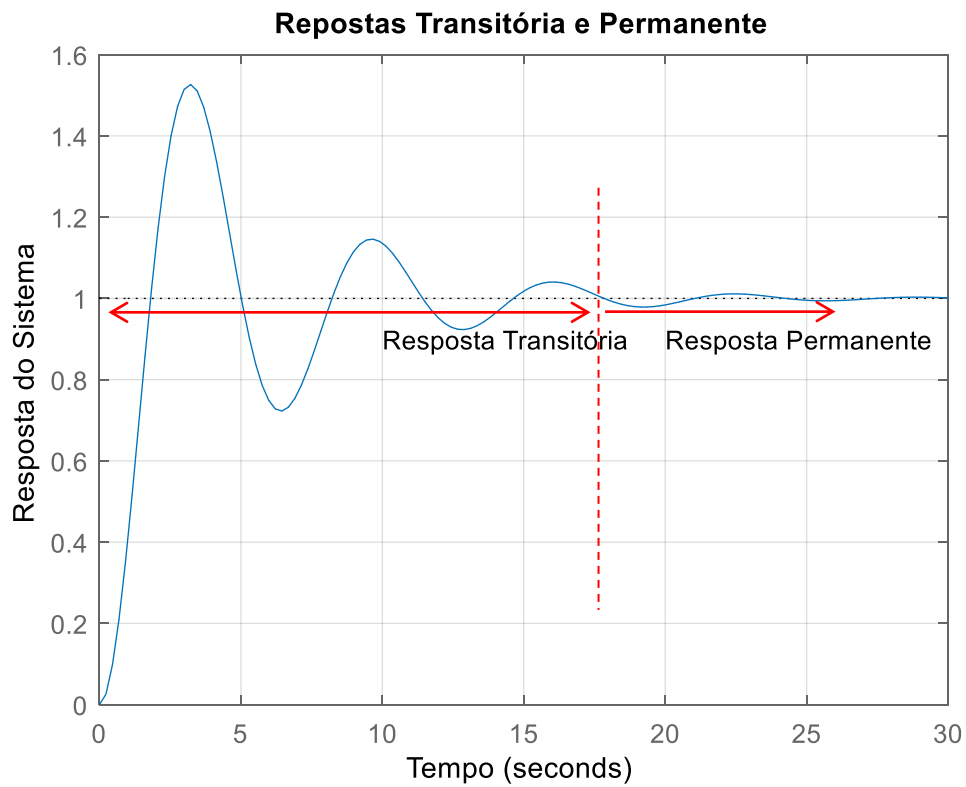


Gráfico 7

Na resposta transitória as variáveis do sistema variam ao passar do tempo até atingirem um valor fixo, ou ficarem oscilando dentro de uma margem de erro.

Na resposta permanente as variáveis do sistema não variam ao passar do tempo ou ficam oscilando dentro de uma margem de erro.