

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

TÓPICOS
<p><b>Este capítulo introduz um sistema de controle nos seguintes pontos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Conceito</b></li><li>- <b>Importância</b></li><li>- <b>componentes básicos</b></li><li>- <b>incorporação da realimentação</b></li><li>- <b>tipos de sistemas de controle</b></li></ul>

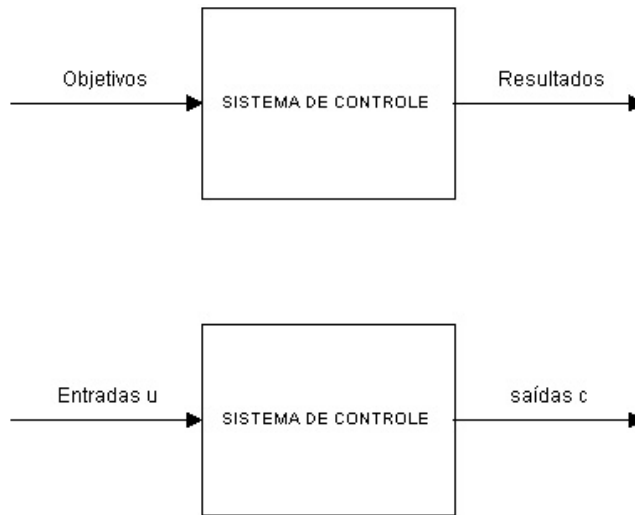
### 1.1 CONCEITO DE UM SISTEMA DE CONTROLE

É uma interconexão de **componentes** formando uma configuração de sistemas que produz uma **resposta desejada** do sistema. A seguir apresentamos um exemplo para ilustrar:

#### **Exemplo 1. Controle de direção de um automóvel.**

A direção das duas rodas dianteiras pode ser considerada como a variável controlada ou saída  $c$ ; a direção do volante é o sinal atuante, ou a entrada  $u$ . A planta controlada neste caso é composta pelos mecanismos de direção e dinâmicas de todo o automóvel. Entretanto, se o objetivo é controlar a velocidade do automóvel, então a quantidade de pressão exercida sobre o acelerador é o sinal atuante e a velocidade do veículo é a variável controlada. De forma geral, podemos considerar o sistema de controle do automóvel como sendo de duas entradas (volante e acelerador) e de duas saídas (direção e velocidade). Neste caso, os dois controles e as saídas são independentes entre si; mas em geral, há sistemas para os quais as malhas de controle estão **acopladas**. Os

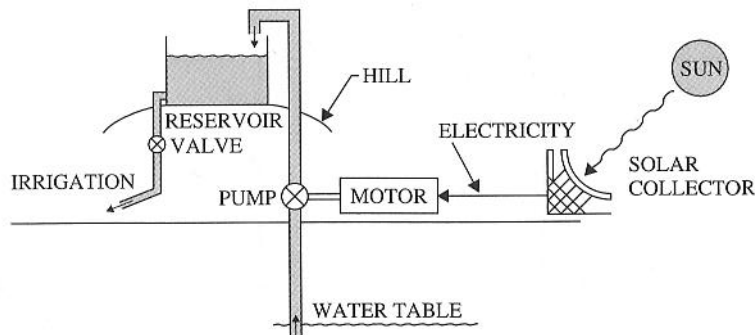
sistemas com mais de uma entrada e uma saída são denominados sistemas multivariáveis (MIMO, multiple-input multiple output). Assim notamos, conforme a figura 1.1, que um sistema de controle, com seus componentes e algoritmos, visa resultados conforme objetivos pré-estabelecidos:



**Figura 1.1** Sistema de controle

### **Exemplo 2.** Controle com o aproveitamento de energia solar

Em alguns casos o sistema de controle deve buscar a eficiência com os recursos disponíveis. Neste exemplo, ilustrado na figura 1.2, observa-se o aproveitamento da energia solar para bombeamento da água a um reservatório de irrigação.



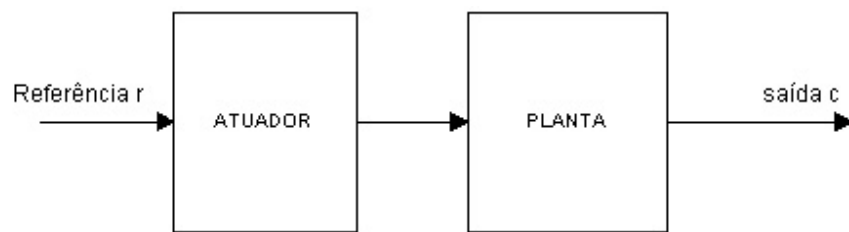
**Figura 1.2** Sistema de controle com aproveitamento de energia solar

Para apresentação dos componentes de um sistema de controle, precisamos entender as expressões **malha aberta** e **malha fechada**.

Sistema de controle em **malha aberta**: utiliza um dispositivo de atuação para controlar diretamente o processo sem usar realimentação.

**Exemplo:**

- máquina de lavar roupa

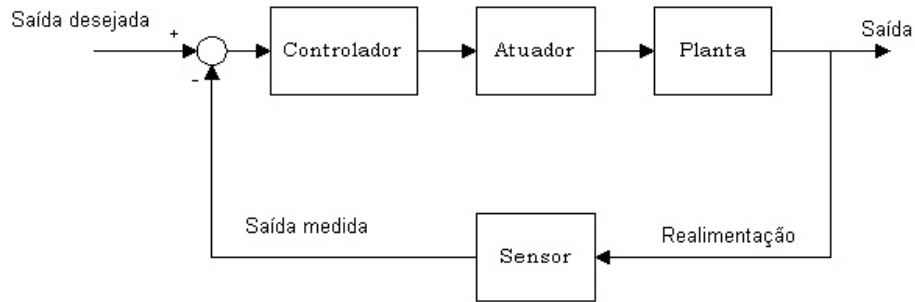


**Figura 1.3** Sistema de controle em malha aberta

**Componentes:** atuador, planta

Dessa forma, um sinal de entrada  $r$  é aplicado ao controlador, cuja saída age com um sinal controle  $u$ ; o sinal de controle então controla o processo, através de um atuador, de forma que a variável controlada  $c$  tenha um desempenho de acordo com algum padrão prescrito

Sistema de controle em **malha fechada**: utiliza a realimentação da medida da saída para comparação com a saída desejada (referência, *set-point*).



**Figura 1.4** Sistema de controle em malha fechada

**Componentes:** atuador, planta, sensor, comparador, controlador

## 1.2 CONTROLE DE PROCESSOS E APLICAÇÕES

Os processos industriais são variados, englobam diversos tipos de produtos e exigem controle preciso dos produtos gerados. Normalmente, os maiores usuários de controle de processos são as indústrias que atuam nas áreas de **petróleo, química, petroquímica, alimento, cerâmica, siderúrgica, celulose e papel, têxtil, geração de energia elétrica, etc.**

Em todos os processos é indispensável se controlar e manter constantes as principais variáveis, tais como **pressão, nível, vazão, temperatura, pH, viscosidade, velocidade, umidade, etc.** Os instrumentos de medição e controle permitem manter e controlar estas variáveis em condições mais adequadas/precisas do que se elas fossem controladas manualmente por um operador.

Os sistemas de controle mantêm a variável controlada no valor especificado, comparando o valor da variável medida, ou a condição a controlar, com o valor desejado (ponto de ajuste ou **set point**), e fazendo as correções em função do desvio existente entre dois valores (**erro ou offset**), sem a necessidade de intervenção do operador.

### 1.3 TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROLE A REALIMENTAÇÃO

Os sistemas de controle a realimentação podem ser classificados em um número muito grande de formas, dependendo da finalidade da classificação. Por exemplo, de acordo com o método de análise e de projeto, os sistemas de controle a realimentação são classificados como **lineares** e **não lineares**, **variantes no tempo** ou **invariantes no tempo**. De acordo com os tipos de sinal encontrados no sistema, faz-se geralmente referência a **sistemas a dados contínuos** e a **sistemas a dados amostrados**, ou ainda a sistemas modulados e não modulados. Também, com referência ao tipo de componentes do sistema, geralmente aparecem descrições tais como sistemas de controle **eletromecânicos**, sistemas de controle **hidráulicos**, sistemas **pneumáticos** e sistemas de controle **biológicos**. Os sistemas de controle são geralmente classificados de acordo com a finalidade principal do sistema. Um sistema de controle de posição e um sistema de controle de velocidade controlam as variáveis de saída na forma em que os nomes sugerem. Em geral, existem muitas outras formas de se identificar o sistema de controle de acordo com algumas características especiais do mesmo. É importante que algumas destas maneiras comuns de classificação de sistemas de controle sejam conhecidas, de forma que uma visão ampla seja obtida antes de se começar a análise e o projeto de sistemas.

#### **Sistemas de controle lineares versus não lineares**

Os sistemas de controle lineares a realimentação são modelos idealizados que são fabricados pelo analista, puramente para simplicidade de análise e projeto. Os valores dos sinais são limitados numa certa faixa para que os componentes exibam características lineares. Por exemplo, amplificadores usados em sistemas de controle geralmente exibem um efeito de saturação quando os sinais de entrada se tornam grandes; o campo magnético do motor usualmente possui propriedade de saturação. Os efeitos não lineares comumente

encontrados em sistemas de controle são: o tempo morto, características não lineares em molas, atrito, entre outros. Para sistemas lineares existem diversas técnicas analíticas e gráficas com finalidades de análise e projeto. No entanto, para sistemas não lineares, os recursos de análise e projeto são mais difíceis.

### **Sistemas invariantes no tempo versus sistemas variantes**

Classificação referente à existência de variação de algum parâmetro em relação ao tempo. Na prática, a maioria dos sistemas são variantes no tempo. Por exemplo: a resistência elétrica de um enrolamento de um motor elétrico varia quando o motor está sendo excitado inicialmente e depois de algum tempo com o aumento da temperatura. Outro exemplo é o sistema de controle de um míssil teleguiado no qual a sua massa decresce à medida que o combustível de bordo está sendo consumido durante o voo.

### **Sistemas de controle monovariáveis (SISO) x multivariáveis (MIMO)**

Os sistemas de controle monovariáveis têm uma variável de entrada e uma de saída. Ao passo que os multivariáveis apresentam mais que uma variável tanto na entrada quanto na saída.

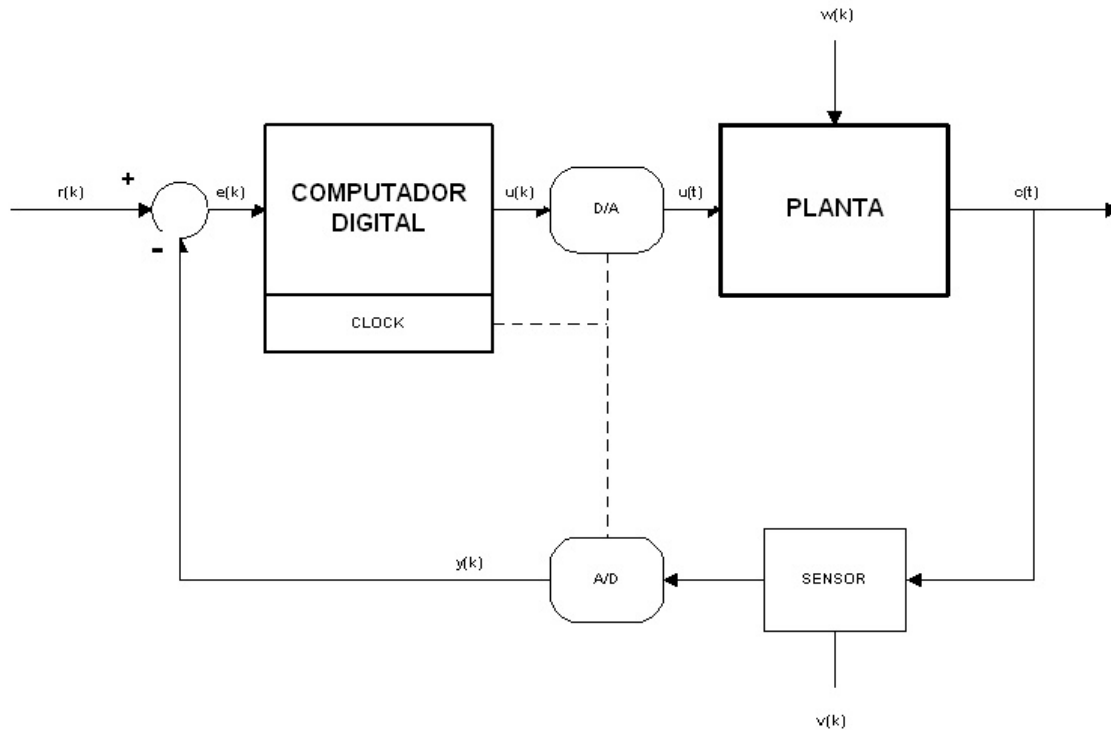
SISO – *Single Input and Single Output*

MIMO – *Multiple Input and Multiple Output*

### **Sistemas de contínuos versus sistemas discretos (digitais)**

Contínuos apresenta sinais de dados contínuos com o tempo, ao passo que os discretos sinais discretizados ao longo do tempo.

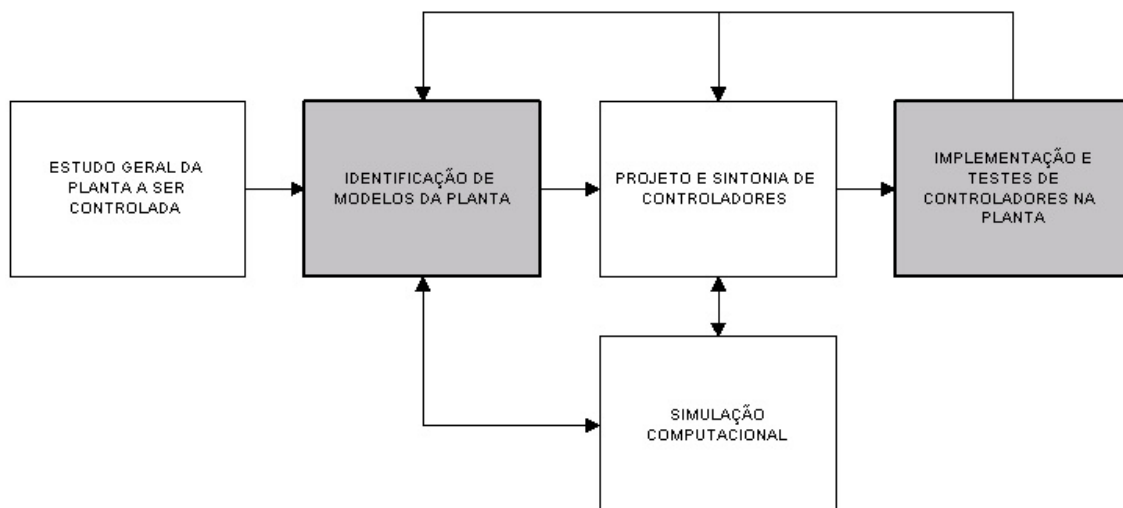
Os sistemas digitais possuem muitas vantagens em tamanho e flexibilidade e sabemos que é uma realidade hoje em dia. A figura 1.5 ilustra uma a estrutura de malha de controle digital:



**Figura 1.5.** Configuração de componentes numa malha de controle digital

## 1.4 PROJETO DE SISTEMAS DE CONTROLE

As fases de projeto de um sistema de controle acontecem conforme ilustrado na figura 1.6:



**Figura 1.6.** Fases de projeto de um sistema de controle

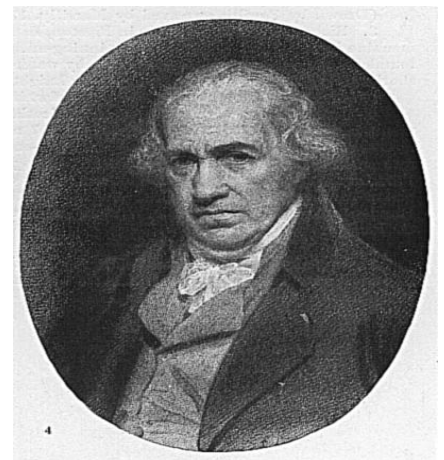
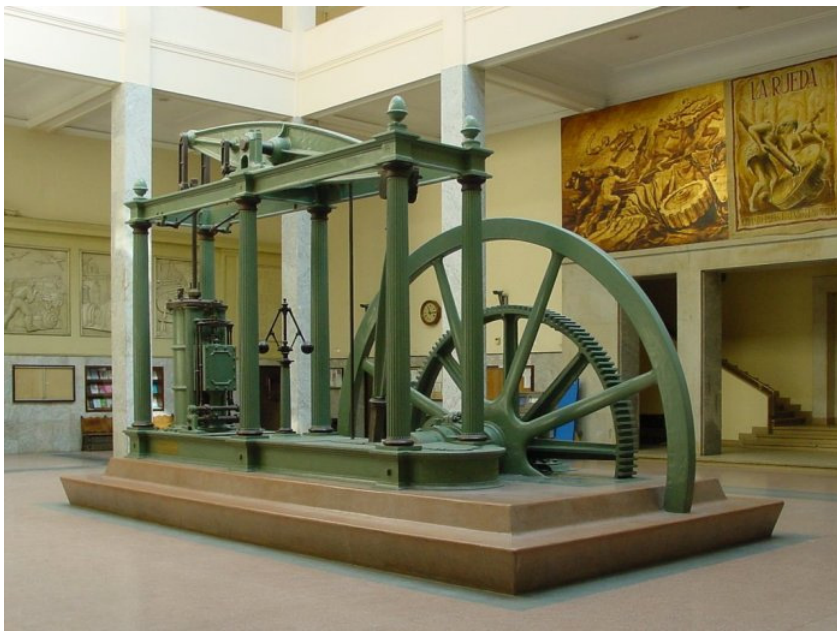
As etapas de identificação, projeto, simulação e implementação estão immanentemente relacionadas. Por isso, é natural que na etapa de testes ocorra algum um retorno às etapas anteriores para as devidas correções de modelagem e projeto, demandando assim uma plataforma flexível. Nas etapas de identificação e implementação precisamos desenvolver um ambiente de aquisição de sinais digitais e que propicie a inclusão dos controladores projetados de uma forma flexível. Estas etapas serão praticadas no Laboratório de Controle, disciplina a ser cursado juntamente a Controle Automático II.



## Leitura Complementar

### Um pouco da História do Controle Automático

Um marco histórico da engenharia de controle foi o sistema de controle de velocidade de máquinas vapor por James Watt (1769). Esse dispositivo era inteiramente mecânico, conforme mostrado na figura 1.7:



**Figura 1.7** Sistema de controle de James Watt

A velocidade do eixo de saída utilizava o movimento das esferas devido à velocidade para controlar a válvula e, portanto, a quantidade de vapor que entrava na máquina. À medida que a velocidade aumenta, os pesos em forma de esfera se elevam e se afastam do eixo, fechando assim a válvula. As esferas móveis requerem potência da máquina para poder girar e por isso tornam a medida da velocidade menos precisa.

No século IXX houve alguns estudos que procuravam representar o sistema de controle com maior exatidão. Assim Maxwell formulou uma teoria matemática relativa à teoria de controle usando um modelo

de um regulador sob forma de equação diferencial. Este estudo de Maxwell preocupou-se com o efeito que os vários parâmetros do sistema tiveram sobre o desempenho deste.

Antes da Segunda Guerra Mundial, a teoria e a prática de controle se desenvolveram nos EUA e no Oeste Europeu de maneira diferente da que ocorreu na Rússia e nos Leste Europeu. O principal incentivo para o uso da realimentação nos EUA foi o desenvolvimento do sistema telefônico e dos amplificadores eletrônicos com realimentação de Bode, Nyquist e Black, nos Laboratórios da Bell Telephone. O domínio da frequência foi usado principalmente para descrever a operação de amplificadores com realimentação em termos de banda passante e outras variáveis frequenciais. Em contraste, matemáticos eminentes e mecânicos aplicados na União Soviética inspiraram e dominaram o campo da teoria de controle. Por isso, a teoria russa cuidou de utilizar uma formulação no domínio do tempo usando equações diferenciais.

O desenvolvimento da engenharia de controle automático teve grande incentivo durante a Segunda Guerra Mundial quando houve a necessidade de projetar e construir pilotos automáticos para aviões, sistemas de posicionamento de canhões, sistemas de controle para antenas de radar e outros sistemas militares baseados na abordagem do controle com realimentação. A complexidade e o desempenho esperados desses sistemas militares necessitaram de uma extensão das técnicas de controle disponíveis e promoveram o crescimento do interesse por sistemas de controle e o desenvolvimento de novos enfoques e de novos métodos. Antes de 1940, na maioria das vezes, o projeto de sistemas realizava-se por métodos de tentativas e erros. Na década de 1940, houve o desenvolvimento de métodos matemáticos e analíticos com potencial de aplicação e propiciaram que a engenharia de controle se constituísse em uma área específica da engenharia.

As técnicas de domínio da frequência continuaram a dominar o campo de controle logo após a 2ª Guerra Mundial com o aumento da transformada de Laplace e do plano de frequência complexa. Durante os

anos 1950, a ênfase na teoria de controle foi o desenvolvimento do método do Lugar das Raízes. A partir de 1980, a utilização de sistemas digitais para controle tornou-se cada vez mais comum.

**Tabela 1.1** Síntese histórica de sistemas de controle automático

1769	Desenvolvimento da máquina a vapor e do regulador de esferas de James Watt.
1868	J.C. Maxwell formula um modelo matemático para o controle regulador de uma máquina a vapor
1913	Introdução da máquina de montagem mecanizada de Henry Ford para a produção automobilística
1927	H.W. Bode analisa amplificadores com realimentação
1932	H. Nyquist desenvolve um método para analisar a estabilidade de sistemas
1952	Desenvolvido o Comando Numérico (CN) no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) para o controle dos eixos de máquinas ferramentas
Década de 60	Desenvolvidos modelos em variáveis de estado e o controle ótimo
Década de 80	Estudo de projeto de controle robusto
Década de 90	Maior ênfase da importância da automação industrial
1994	Controle com realimentação amplamente utilizado em automóveis. Demanda da manufatura por sistemas robustos, confiáveis.

## REFERÊNCIAS:

KUO, B. C., Automatic Control Systems, 7<sup>th</sup> ed, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1995, Prentice Hall, 1995.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, 4<sup>a</sup> edição. Prentice Hall, São Paulo, 2003.