

## Aula 2: Apresentação e contextualização

prof. Dr. Eduardo Bento Pereira

Universidade Federal de São João del-Rei

*ebento@ufsj.edu.br*

11 de agosto de 2019.

# Overview

## 1 Apresentações

- Professor e alunos
- A disciplina

## 2 Contextualização

- Contextualização no curso
- Contexto histórico
- Contextualização na indústria
- Contextualização no cotidiano

## Experiência acadêmica

O professor possui mestrado e doutorado na área de Sistemas e Controle pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

### Mestrado

Tese intitulada **Modelos baseados em indivíduos para controle de epidemias em populações heterogêneas e metapopulações** [PEREIRA, E. B., 2008]. Trata da modelagem e controle de epidemias por meio de uma abordagem de indivíduos modelados por características que podem ser espaciais, por sexo, idade, comportamentos, etc.

# Experiência acadêmica

## Doutorado

Tese intitulada **Controle colaborativo para mitigação de danos em sistemas críticos** [PEREIRA, E. B., 2013]. Trata de uma proposta de modelagem para rede de controladores distribuídos que interagem de modo a mitigar o dano no sistema (como um todo) na presença de falhas. Como exemplo de aplicação, foram utilizados controladores do tipo LQR (*Linear Quadratic Regulator*).

## Experiência acadêmica

O professor coordena o Núcleo de Robótica e Tecnologias Assistivas da UFSJ.

### Projetos

Os principais projetos são na área de tecnologias Assistivas, Controle, Inteligência Artificial e Robótica Educacional.

### Orientações

Orientações de alunos de iniciação científicas, extensão e projetos de competição e coorientação de alunos de mestrado.

## Experiência na indústria

O professor trabalhou na área de controle, automação e instrumentação industrial na Empresa Gerdau Açominas entre os anos de 2000 e 2005.

### Projetos

Os principais projetos desenvolvidos foram: automação do sistema de comunicação das máquinas móveis do pátio de carvão, automação do sistema de monitoramento de gás CO do subsolo da Coqueria, projeto de pré-engenharia de modernização, utilizando redes Foundations Fieldbus, do Tratamento Primário de Gás.

# Experiência na indústria

## Manutenção

Experiência em planejamento, execução, inspeção e implementação de plano de manutenção em máquinas e instalações elétricas e sistema de automação e instrumentação industrial.

## Tecnologias

Obs.: Experiência em Controladores Lógicos Programáveis da Empresa Modicon e Sistemas Supervisórios Wizcon, inversores da WEG, instrumentos da SMAR, etc.

# Experiência em Inovação

## Patentes

Colaboração em projetos que culminaram com o depósito de 3 patentes entre 2015 e 2017 nas áreas de tecnologias assistivas e equipamentos para pesquisa.

## Protótipos

Proposição, orientação e participação em diversos projetos que tiveram como finalidade a construção de protótipos, especialmente para a área de tecnologias para educação e educação inclusiva.



# Contato

## Contato

email.: ebento@ufsj.edu.br

## Página

O material de aula estará disponível na página [www.ufsj.edu.br/ebento](http://www.ufsj.edu.br/ebento)

## Portal didático

A comunicação e envio de material complementar será feito via portal didático.

## Horário de atendimento

Toda quinta-feira de 14 às 17 horas na sala 2.02 PV (Prédio Verde).

# Os alunos

Apresentação dos alunos.

# Objetivos

Conforme projeto pedagógico

Apresentar conceitos relacionados com a teoria de controle, como ferramenta auxiliar para a resolução de problemas complexos envolvendo controle e projeto de controladores no domínio da frequência e no domínio do tempo. [Colegiado de curso, 2009]

# Ementa disponível em [Colegiado de curso, 2009]

- ① Controladores industriais;
- ② Projeto de sistemas de controle pelo método do lugar das raízes;
- ③ Projeto de sistemas de controle pela resposta em frequência;
- ④ Projeto de controladores por realimentação de estados;
- ⑤ Controle ótimo quadrático;
- ⑥ Práticas de Laboratório: experimentos envolvendo o conteúdo teórico.

# Bibliografia

- ① Kuo, Benjamim C.: Sistemas de controle moderno, Editora Prentice Hall do Brasil;
- ② Boltura, C.P.: Princípios de controle e servomecanismos.;
- ③ Bolton, William: Engenharia de controle moderno, Editora Makron;
- ④ Houpis, DAzzo: Análise e projeto de sistemas de controle lineares;
- ⑤ Coughanowr, Donald R.; Koppel, Lowell B.: Sistemas de controle moderno, Editora Guanabara;
- ⑥ Ogata, Katsuhiko: Engenharia de controle moderno, Editora Prentice Hall do Brasil;
- ⑦ Dorf, Richard C. Modern control system. Addison-Wesley Publishing Company;
- ⑧ Phillips, Charles L.; Harbor, Royce D.: Sistemas de controle e realimentação, Editora Makron Books.

# Bibliografia Complementar

- ① CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G. Controles típicos de equipamentos e processos industriais. São Paulo: Blucher, 2006. 396 p.
- ② Páginas de internet e manuais a serem apresentados ao longo das aulas.

# Método de avaliação

O método de avaliação é composto por 3 avaliações teóricas envolvendo o conteúdo da ementa, incluindo-se questões sobre as aulas práticas.

## Avaliação A1

Controladores industriais.

## Avaliação A2

Projeto de sistemas de controle pelo método do lugar das raízes e Projeto de sistemas de controle pela resposta em frequência.

## Avaliação A3

Projeto de controladores por realimentação de estados e Controle ótimo quadrático.

# Método de avaliação

- Critério para aprovação ( $N \geq 6$  e frequência):

$$N = \frac{A1 + A2 + A3 + TF}{4}$$

Haverá uma avaliação substitutiva (A4) englobando todo o conteúdo da disciplina que pode ser usada para substituir a menor nota entre A1, A2 e A3.

- As datas das avaliações são:

A1 26/09/2019;

A2 31/10/2019;

A3 12/12/2019;

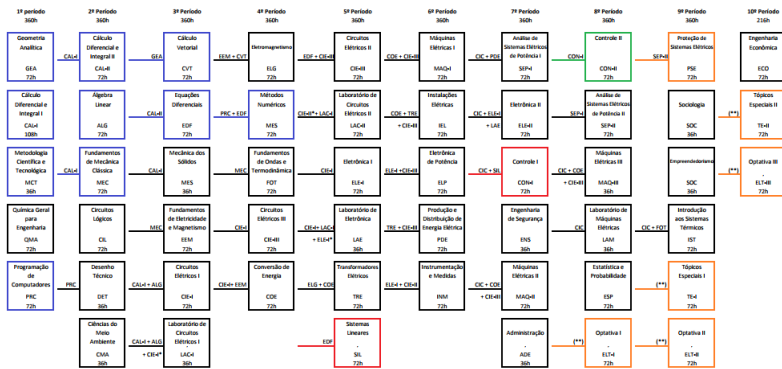
A4 19/12/2019.

TF 05/12/2019.

**Obs.:** Qualquer aluno poderá fazer a avaliação substitutiva se desejar.



Figura: Fluxograma do curso de Engenharia Elétrica da UFSJ - currículo 2009.



# Pré-requisitos

- Operações com números complexos (incluindo expansão em frações parciais);
- Operações com matrizes e vetores;
- Cálculo diferencial e integral;
- Equações diferenciais ordinárias;
- Física para engenharia;
- Cálculo numérico para uso de simulações de computador;
- Sistemas Lineares e Controle I.

# Controle *versus* Automático

## Heron de Alexandria

- 1 Matemático e engenheiro grego;
- 2 Considerado o inventor do motor a vapor;
- 3 Inventor do moinho a vento.

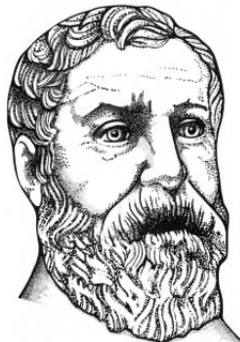


Figura: Heron de Alexandria (10 a 70 A.C.)

# Eolípila

**Contribuições** Heron inventou Eolípila que é conhecida, também, como Máquina de Heron ou Máquina Térmica de Heron [Wikipedia, 2017]. Este invento é considerado a primeira máquina a vapor.



Figura: Máquina Térmica de Heron, ou, Eolípila.

# Moinho de vento

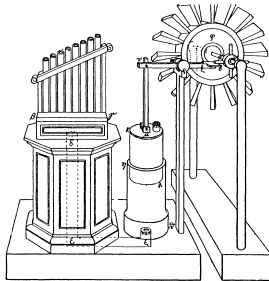


Figura: Órgão movido a moinho de vento.

Máquina Térmica de Heron



Figura: Engrenagens de um moinho de madeira.

Máquina Térmica de Heron

# Governador de Whatt

## James Watt

- 1 Matemático e engenheiro escocês;
- 2 Considerado o pai do controle automático;
- 3 Inventor do Governor de Watt.

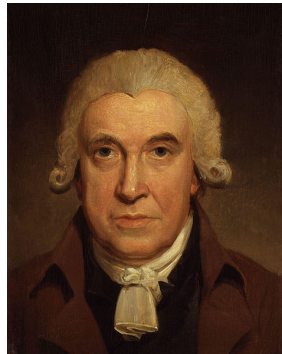


Figura: James Watt (1736-1819).

# Governador de Whatt

James Watt construiu o primeiro governador a vapor em novembro de 1788.

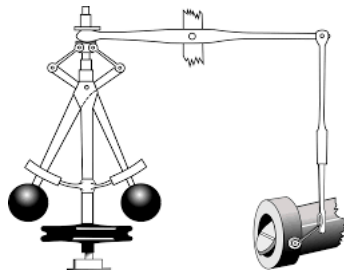


Figura: Governador (*Governor*) de Watt.

## Governador de Whatt

James Clerk Maxwell explicou, em seu artigo de 1868 intitulado "On Governors", as instabilidades exibidas pelo governador *flyball* por meio de equações diferenciais que descreviam o sistema de controle [IEEE Control System Society, 2017].

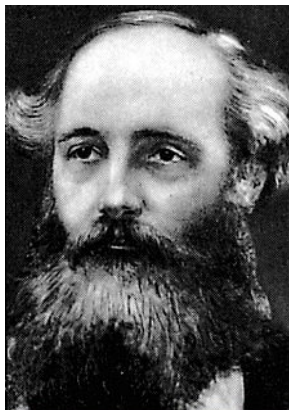


Figura: James Clerk Maxwell (1831-1879).



# Controle Clássico

## Modelos para sistemas LTI

Sistemas SISO (do inglês *Single Input Single Output* ):

- Equações diferenciais ordinárias (EDO's) no domínio do tempo contínuo;
  - Equações de diferenças no domínio do tempo discreto;
  - Funções de transferência.
- Sistemas MIMO (do inglês *Multiple Input Multiple Output* ): matriz de transferência.

# Controle Clássico

## Domínio do tempo

Índices de desempenho (ou figuras de mérito):

- baseados na resposta ao degrau de sistema de 1ª e 2ª ordem (tempo de subida, tempo de acomodação, sobressinal e constante de tempo, etc.);
- baseados no cálculo do erro (ISE, IAE, ITSE e ITAE);
- baseados na resposta em regime permanente a uma certa entrada (constante de posição  $K_p$ , constante de velocidade  $K_v$  e constante de aceleração  $K_a$ );
- baseados em critérios de estabilidade.

## Domínio da frequência

Diagrama de Bode, diagrama de Nyquist, diagramas polares e gráfico do lugar das raízes.

# Controle Moderno

## Modelos de sistemas

Representação em Espaço de Estados de sistemas MIMO, não lineares, sistemas estocásticos, etc.

## Controlabilidade e observabilidade

Conceito de controlabilidade e observabilidade. Estimar variáveis não medidas por meio de um observador de estados.

## Uso da otimização

Lei de controle baseada em índice de otimização de forma implícita ( $\min J(.)$  sujeito a  $g(.)$ ).

## Estabilidade

Projeto de controle utilizando conceitos de algebra como autovalores e autovetores e critério de Estabilidade de Lyapunov.

# Controle Avançado

Décadas de 1950 e 1960

Desenvolvimento do controle ótimo.

Décadas de 1970 e 1980

Desenvolvimento das técnicas de controle robusto, estocástico e adaptativo e preditivo.

Anos recentes

Desenvolvimento das técnicas de controle tolerante a falhas, por mitigação de dano, com inteligência artificial e controladores colaborativos e cooperativos.

# Controle *versus* Automação

## Controle

Nos sistemas de controle, sinais são obtidos por meio de sensores, que são processados pelo elemento denominado controlador, que por sua vez envia sinais ao atuador e ao elemento finais de controle de modo a modificar o valor de uma ou mais grandezas. Tudo isto de acordo com as especificações de desempenho. O controle pode ser manual ou automático, em malha aberta ou fechada, por regulação ou rastreamento.

## Automação

A automação tem por objetivo substituir o ser humano em tarefas que podem ser realizados por máquinas.

## Controle Automático

O controle automático necessariamente não passa pela atuação humana.

# Controladores na indústria

## Controlador Lógico Programável (CLP)

Inicialmente, o CLP foi projetado sob demanda para automação da fabricação de automóveis para a empresa General Motors. Richard (Dick) Morley é considerado o "pai" do CLP.

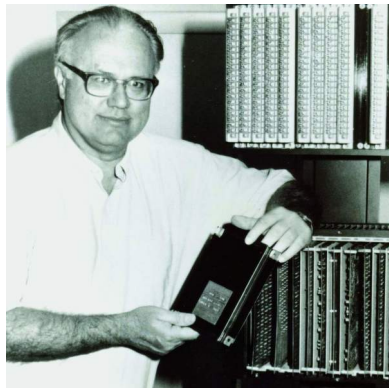


Figura: Primeiro Controlador Lógico Programável, empresa Modicon.

# Controladores na indústria

Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD)

Atualmente conhecido como DCS (Digital Control System).



Figura: Exemplo de Sistema Digital de Controle Distribuído.

# Controladores na indústria

Network Control System (NCS)  
Advento das redes digitais.



Figura: Exemplo de Network Control System.



# Noção intuitiva

*Por que controle?*

# Aplicações

- Sistemas embarcados em carros, aviões, navios e em Veículos Autônomos;
- Eletrodomésticos;
- Automação residencial (domótica), hospitalar, comercial e residencial;
- Sistemas Robóticos;
- Sistemas aeronáuticos e aeroespaciais;
- Sistemas de segurança;
- Sistemas de energia renovável;
- Cidades inteligentes (*Smart City*), Redes Inteligentes (*Smart City*) e Internet das coisas (*Internet of Things*, IoT)
- Sistemas de audio e video (especialmente para *shows*);
- Algoritmos.

# Referências Bibliográficas



Eduardo Bento Pereira (2008)

Modelos baseados em indivíduos para controle de epidemias em populações heterogêneas e metapopulações

<http://www.bditabiblita.br/tesesdigitais/>. Acessado em 07-08-2017.



Eduardo Bento Pereira (2013)

Controle colaborativo para mitigação de danos em sistemas críticos

<http://www.bditabiblita.br/tesesdigitais>. Acessado em 07-08-2017.



Colegiado de Curso (2009)

Projeto Pedagógico do curso de Engenharia Elétrica da UFSJ

<http://www.ufsj.edu.br/coele/>. Acessado em 07-08-2017.



Wikipedia Heron de Alexandria (2017)

Heron de Alexandria

[https://en.wikipedia.org/wiki/Hero\\_of\\_Alexandria](https://en.wikipedia.org/wiki/Hero_of_Alexandria). Acessado em 07-08-2017.



IEEE Control System Society (2017)

Brief history of control

<http://www.ieeecss.org/general/brief-history-control>. Acessado em 07-08-2017.

# Fim