

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
**Plano de Ensino**

Disciplina: **ENG04035 - Sistemas de Controle I**

Carga Horária: 4h-aula Teóricas(T)  
2h-aula Práticas (P)

Pré-Requisitos: ENG04006

Período Letivo: 2004/1

Créditos: 6

Professor Regente: João Manoel Gomes da Silva Jr.

Professores de Aulas Teóricas: João Manoel Gomes da Silva Jr.

Professores de Aulas Práticas: Romeu Reginatto / Tristão Garcia

Página www: <http://www.eletr.ufrgs.br/~jmgomes/eng4035/>

## 1 Súmula

Modelagem e identificação de sistemas dinâmicos. Conceitos básicos e problemas fundamentais em sistemas de controle. Controladores PID: teoria e ajuste. Projeto de controladores para sistemas monovariáveis via lugar das raízes. Aspectos não lineares em sistemas de controle.

## 2 Objetivos

- Dar ao aluno noções de base em modelagem de processos dinâmicos e identificação de parâmetros de funções de transferência a partir de ensaios experimentais.
- Compreensão da importância da realimentação e de seus efeitos em sistemas de controle em conjunto com ações de controle básicas.
- Capacitar o aluno ao projeto, implementação e utilização de controladores PID para plantas industriais; ao projeto e implementação compensadores para sistemas lineares monovariáveis e invariantes no tempo segundo a teoria clássica de controle e à análise de efeitos não lineares sobre este projeto.

## 3 Metodologia

Aulas expositivas (4hs/semana) e de laboratório (2hs/semana).

## 4 Sistema de Avaliação

O desempenho do aluno será realizado por meio de 2 tipos de avaliação: provas teóricas e um trabalho prático.

- **Provas Teóricas:**

Serão realizadas 2 provas teóricas, com conteúdo cumulativo, abrangendo assuntos desenvolvidos tanto em aulas teóricas quanto práticas. As respectivas notas são designadas por  $P_1$  e  $P_2$

- **Trabalho Prático**

O trabalho prático será realizado em grupo de **no máximo 3 alunos** e deverá ser apresentado no final do semestre.

A composição do grupo de trabalho deverá ser comunicada, por escrito e com a assinatura de todos os membros, ao professor regente até a 3a. semana de aula. **Sob hipótese alguma serão toleradas modificações neste grupo após a comunicação escrita.**

No trabalho prático (projeto) o aluno deverá aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do semestre no projeto de um sistema de controle. Relatórios parciais de andamento de projeto poderão ser solicitados no decorrer do semestre. Na data fixada para a apresentação do projeto deverá ser entregue um relatório final de projeto.

A nota do trabalho prático será designada por NT.

Considerando as avaliações acima, a nota final (NF) será calculada como:

$$NF = (P_1 + P_2 + NT)/3$$

- Será considerado **aprovado** o aluno que obtiver:

1.  $P_1 \geq 5.0$ ,  $P_2 \geq 5.0$ ,  $NT \geq 5.0$ , e
2.  $NF \geq 6.0$ .

- Estará **automaticamente reprovado**, sem direito a recuperação, o aluno que obtiver nota menor que 5 nas duas provas teóricas.
- Estará **automaticamente reprovado**, sem direito a recuperação, o aluno que obtiver nota menor que 5 no trabalho prático.
- Os alunos que não estiverem automaticamente reprovados, terão direito de **recuperar a nota de apenas uma das provas teóricas**. Neste caso, a nota obtida na recuperação substitui a nota previamente obtida e  $NF$  é recalculada.

Serão atribuídos conceitos finais conforme a tabela abaixo:

$NF \geq 8.5$	A
$7.0 \leq NF < 8.5$	B
$6.0 \leq NF < 7.0$	C
$NF < 6.0$ , ou $P_1$ e $P_2 < 5$ , ou $NT < 5$	D
Frequência insuficiente	FF

**Observações Importantes:**

1. Nas provas teóricas será permitido apenas a consulta a um resumo, que não deverá exceder a **uma** folha e não poderá conter exercícios resolvidos.
2. Pedidos de revisão de prova deverão ser feitos por escrito, com argumentação estritamente técnica, até uma semana após a entrega da nota da prova. Pedidos não satisfazendo estas condições não serão considerados.
3. A não apresentação do projeto com a entrega do relatório final dentro do prazo previsto no plano de ensino implicará na em  $NT = 0$ .

## 5 Conteúdo Programático

1. Modelagem e Identificação [10, caps. 3 e 4], [1, cap. 2], [7], [3], [8], [12, cap. 2 e 4]
  - (a) Definições gerais: sistemas dinâmicos lineares e não-lineares
  - (b) Objetivos da modelagem; Tipos de modelos; Etapas da modelagem
  - (c) Modelos de processos industriais: servomecanismos, processos térmicos, de nível e de pressão.
  - (d) Modelos linearizados
    - i. Ponto de operação (equilíbrio)
    - ii. Formalismo da linearização
    - iii. Domínio de validade do modelo linear
    - iv. Obtenção de funções de transferência
  - (e) Identificação de parâmetros de funções de transferência com base na resposta ao degrau
    - i. Processos de 1a. ordem e de 2a. ordem
    - ii. Processos integradores e com atraso de transporte
    - iii. Planejamento e realização de ensaios
2. Conceitos básicos em Engenharia de Controle [10, cap. 1 e seção 5.10], [7], [8]
  - (a) Controle em malha aberta e malha fechada.
  - (b) Estabilidade BIBO
  - (c) Desempenho em regime permanente.
    - i. Problema de seguimento de referências
    - ii. Problema de rejeição a perturbações
  - (d) Desempenho em regime transitório.
  - (e) Objetivos de controle.
3. Controladores PID [10, seções 5-1,5-2,5-3,10-1,10-2], [7]
  - (a) Ações básicas de controle
    - i. Ação liga-desliga
    - ii. Ação proporcional
    - iii. Ação integral
    - iv. Ação derivativa
  - (b) Controlador PID analógico: formas de implementações
  - (c) Ajuste de controladores PID baseados em ensaios (métodos de Ziegler & Nichols).
    - i. Métodos baseados na resposta ao salto
    - ii. Métodos baseados na resposta em frequência
4. O método do Lugar das Raízes [10, cap. 6], [8]
  - (a) Raízes de polinômios
  - (b) Variação de parâmetros
  - (c) Traçado do Lugar das Raízes

- i. Fundamento teórico
  - ii. Traçado sobre o eixo real
  - iii. Assíntotas
  - iv. Pontos de saída e entrada do eixo real
  - v. Ângulo de partida
- (d) Análise de sistemas realimentados
  - i. Formulação do problema
  - ii. Estabilidade e desempenho transitório
  - iii. Cálculo do ganho crítico e margem de ganho
- 5. Projeto de Controladores baseado no Lugar das Raízes [10, cap.7], (Notas de Aula)
  - (a) Introdução ao projeto de controladores usando o lugar das raízes.
  - (b) Projeto de Controladores PID usando o lugar das raízes
    - i. PI
    - ii. PD
    - iii. PID
  - (c) Projeto genérico de controladores usando o lugar das raízes
- 6. Implementação digital de controladores. [7, seção 8-1], (Notas de Aula).
  - (a) Sistemas de controle amostrados
  - (b) Implementação digital de controladores analógicos
    - i. Aproximação por diferenças
    - ii. Aproximação de Tustin
  - (c) PID digital
- 7. Não-linearidades em sistemas de controle. (Notas de Aula)
  - (a) Tipos de não-linearidades.
  - (b) Cancelamento não-linearidades.
  - (c) Saturação em atuadores.
    - i. não seguimento de referência
    - ii. windup da ação integral; estratégias de anti-windup
  - (d) Zona-morta em atuadores.
    - i. não seguimento de referência
    - ii. compensação
  - (e) Programação de ganhos

## Referências

- [1] K.J. Astrom, B. Wittenmark; **Computer Controlled Systems**, 3<sup>a</sup> Ed; Prentice-Hall, 1997.\*
- [2] K. Astrom , T. Hagglund; **PID Controllers: Theory, Design and Tuning**. 2nd ed.

- [3] L. A. Aguirre; **Introdução à Identificação de Sistemas - Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais**; Editora UFMG, 2000.
- [4] W. Bolton; **Engenharia de Controle**; Makron Books do Brasil, 1995.
- [5] C.T. Chen; **Linear System Theory and Design**, 3<sup>a</sup> Ed; Oxford University Press, 1999.\*
- [6] R. Dorf, R. Bishop; **Modern Control Systems**, 7<sup>a</sup> Ed; Addison-Wesley, 1995.
- [7] G.F. Franklin, J.D. Powell, A.E. Naeini; **Feedback Control of Dynamic Systems**, 3<sup>a</sup> Ed; Addison-Wesley, 1994.
- [8] B. Kuo; **Automatic Control Systems**, 7<sup>a</sup> Ed; Prentice Hall, 1995.
- [9] K. Ogata; **Engenharia de Controle Moderno**; 1a ed.; xii+932 páginas; 23cm × 15cm; Prentice Hall do Brasil.
- [10] K. Ogata; **Engenharia de Controle Moderno**; 3a ed.; xvi+816 páginas; 27,5cm × 21cm; Tradução B. Severo; LTC Editora; Rio de Janeiro; 1998. .
- [11] C.L. Phillips, R.D. Harbor; **Sistemas de Controle e Realimentação**; Makron Books do Brasil, 1997.
- [12] N. S. Nise; **Engenharia de Sistemas de Controle**; 3a ed; LTC Editora; Rio de Janeiro; 2002.

## 6 Cronograma

Aulas Teóricas		
semana	aula	conteúdo
16/03	ter.	1.(a),(b)
18/03	qui.	1.(c)
23/03	ter.	1.(c)
25/03	qui.	1.(c)
30/03	ter.	1.(d)
01/04	qui.	1.(d)
06/04	ter.	1.(e)
08/04	qui.	1.(e)
13/04	ter.	exercícios
15/04	qui.	2.(a),(b),(c)
20/04	ter.	2.(c),(d)
22/04	qui.	2.(d),(e)
27/04	ter.	3.(a),(b)
29/04	qui.	3.(c)
04/05	ter.	exercícios
06/05	qui.	4.(a),(b),(c)
11/05	ter.	<b>P1</b>
13/05	qui.	4.(c)
18/05	ter.	4.(c)
20/05	qui.	4.(d)
25/05	ter.	4.(d)
27/05	qui.	5.(a)
01/06	ter.	5.(b).i
03/06	qui.	5.(b).ii
08/06	ter.	5.(b).iii
10/06	qui.	feriado
15/06	ter.	5.(c)
17/06	qui.	exercícios
22/06	ter.	6.(a)
24/06	qui.	6.(b),(c)
29/06	ter.	7.(a),(b)
20/07	qui.	7.(c)
06/07	ter.	7.(d)
08/07	qui.	<b>P2</b>
13/07	ter.	–
15/07	qui.	–
20/07	ter.	<b>recuperação</b>
22/07	qui.	apropriação de conceitos

Aulas de Laboratório	
dia	conteúdo
19/03	MATLAB/SIMULINK
26/03	1.(e)
02/04	1.(d)
09/04	feriado
16/04	1.(e)
23/04	2.(c),(d)
30/04	3.(a)
07/05	3.(c).i
14/05	projeto
21/05	4.(c)
28/05	4.(d)
04/06	5
11/06	5
18/06	projeto
25/06	6
02/07	7
09/07	projeto
16/07	<b>entrega projeto</b>