

# Planejamento da Disciplina Controle e Servomecanismos I

Professor José Paulo Vilela Soares da Cunha

12 de abril de 2013

## Identificação

**UERJ**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Eletrônica e Telecomunicações**

**Assunto:** Planejamento para a disciplina no primeiro semestre de 2013.

**Nota:** Esta versão utiliza a 5<sup>a</sup> edição do livro (Ogata 2010) e não mais será atualizada.

**Turmas:** 01 e 02

**E-mails:** [jpaulo@uerj.br](mailto:jpaulo@uerj.br) e [jpaulo@lee.eng.uerj.br](mailto:jpaulo@lee.eng.uerj.br)

**Homepage:** <http://www.lee.eng.uerj.br/~jpaulo/contri.html>

## 1 Tópicos desta Disciplina

Nesta disciplina aborda-se o controle de sistemas lineares no tempo contínuo. Os principais tópicos são:

1. Introdução ao controle.
2. Revisão:
  - (a) Sistemas dinâmicos e sua modelagem.
  - (b) Equação de estado.
  - (c) Transformada de Laplace.
  - (d) Função de transferência e resposta em frequência.
3. Sistemas em malha fechada.
4. Resposta transitória, erro estacionário e critérios e restrições sobre o desempenho de sistemas de controle.
5. Estabilidade de sistemas dinâmicos. Condição de estabilidade de Routh-Hurwitz.
6. Diagrama do lugar das raízes.
7. Métodos de resposta em frequência para a análise e o projeto de sistemas de controle (e.g., diagramas de Nyquist e Bode). Critério de estabilidade de Nyquist.
8. Projeto de compensadores/controladores: *lead*, *lag*, PID, etc..

## 2 Orientação Geral para o Estudo desta Disciplina

Para esta disciplina são recomendadas as referências (Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998, D’Azzo & Houpis 1984). Qualquer uma destas referências é adequada ao curso, bem como outros livros texto básicos de controle linear que abordem os tópicos relacionados na seção 1. Este planejamento utiliza a 5ª edição do livro *Engenharia de Controle Moderno* (Ogata 2010), da qual serão extraídos muitos dos exercícios. Os livros (Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998) apresentam diversos exemplos de análise e projeto de sistemas de controle empregando o *software* [MatLab](#), que atualmente é uma ferramenta importante na área de controle e, por isso, será utilizado nesta disciplina.

### 3 Orientação para o Estudo dos Tópicos

Nesta seção é apresentada uma orientação para o aluno estudar cada um dos tópicos abordados. Apresenta-se uma relação de seções de livros que devem ser estudadas e de exercícios propostos. O livro (Ogata 2010) possui, também, exercícios já resolvidos (com prefixo “A”) que devem ser estudados antes da resolução dos exercícios propostos (com prefixo “B”). Naturalmente o aluno não deve restringir seus estudos a estas seções e exercícios, pois trata-se de uma relação reduzida.

Recomenda-se que o aluno primeiramente resolva os problemas numéricos manualmente e, posteriormente, utilize algum *software* como o MatLab ou os *softwares livres* Scilab e Octave para verificar os resultados, seguindo-se a sugestão de Chen (1999, p. 78). O aluno deverá notar que alguns exercícios no livro (Ogata 2010) foram elaborados para serem resolvidos com o auxílio de algum *software* para análise e projeto de sistemas de controle.

#### 3.1 Introdução ao controle

A introdução no capítulo 1 da referência (Ogata 2010) apresenta alguns exemplos da aplicação de controladores.

#### 3.2 Revisão de sistemas dinâmicos e sua modelagem

Recomenda-se o estudo das seções 3.1, 3.2, 3.3, 2.7 e do exemplo A.3.9 na referência (Ogata 2010).

São recomendados os exercícios (Ogata 2003) B.3.1 a B.3.13, B.2.13 e B.2.14. Também são recomendados os exercícios da segunda edição do livro (Ogata 1993): B.2.1 a B.2.4, B.2.6, B.2.9 a B.2.11, B.2.14 e B.2.15.

Recomenda-se o capítulo 4 (Ogata 2010) para o aluno interessado em sistemas pneumáticos, hidráulicos ou térmicos.

#### 3.3 Revisão de equação de estado

A abordagem por equação de estado é utilizada em várias seções do capítulo 3 da referência (Ogata 2010). Recomenda-se, especialmente, as seções 2.4 e 2.5.

Exercício recomendado: B.2.9.

### **3.4 Revisão de transformada de Laplace**

Recomenda-se a revisão de transformada de Laplace e a sua aplicação nos Apêndices A e B do livro (Ogata 2010).

### **3.5 Revisão de função de transferência e resposta em frequência**

Recomenda-se o estudo das seções 2.2 e 2.6 da referência (Ogata 2010). Para o traçado de diagramas de Bode, recomenda-se as seções 7.1 e 7.2 do livro (Ogata 2010). A seção 7.9 aborda alguns aspectos sobre a determinação experimental de funções de transferência. Um alternativa é estudar os diagramas de Bode em algum livro sobre a análise de circuitos elétricos ou filtros.

São recomendados os exercícios B.2.1 a B.2.3, B.2.10 a B.2.12, B.7.1 a B.7.6.

### **3.6 Sistemas em malha fechada**

Recomenda-se o estudo da seção 2.3 da referência (Ogata 2010).

Exercícios recomendados: B.2.4 a B.2.8.

### **3.7 Resposta transitória, erro estacionário e critérios e restrições sobre o desempenho de sistemas de controle**

Recomenda-se o estudo das seguintes seções da referência (Ogata 2010): 5.1 a 5.5, 5.7 e 5.8. Deve ser enfatizada a relação entre a resposta no domínio da frequência e o desempenho no domínio do tempo.

Exercícios recomendados: B.5.1 a B.5.19 e B.5.26 a B.5.28.

### **3.8 Condição de estabilidade de Routh-Hurwitz**

Recomenda-se a seção 5.6 e os exemplos A.5.18 a A.5.20 do livro (Ogata 2010).

Exercícios recomendados: B.5.20 a B.5.25.

### **3.9 Diagrama do lugar das raízes**

Recomenda-se o estudo das seguintes seções da referência (Ogata 2010): 6.1 a 6.3. Alternativamente pode-se adotar o livro (D’Azzo & Houpis 1984).

Exercícios recomendados: B.6.1 a B.6.12.

### 3.10 Métodos de resposta em frequência: aplicação dos diagramas de Nyquist e de Bode e do critério de estabilidade de Nyquist

Recomenda-se iniciar pela revisão do traçado de diagramas de Bode nas seções 7.1 a 7.2 do livro (Ogata 2010). As seções específicas para a aplicação de métodos de resposta em frequência são: 7.3, 7.5 e 7.6 a 7.8. Alternativamente pode-se adotar o livro (D’Azzo & Houpis 1984) para o estudo do critério de estabilidade de Nyquist.

O critério de estabilidade de Nyquist é baseado no *princípio do argumento* para funções de variáveis complexas (Ávila 2000, p. 176).

Exercícios recomendados: B.7.7 a B.7.30.

### 3.11 Projeto de controladores

Recomenda-se o estudo das seções 6.5 a 6.8 e 7.10 a 7.13 do livro (Ogata 2010).

As seções 8.1 a 8.7 apresentam detalhes sobre controladores com ações proporcional, integral e derivativa (PID). Essas seções são especialmente recomendadas para aqueles com interesse no controle de processos industriais.

Exercícios recomendados: B.6.14 a B.6.28 e B.7.31 a B.7.34.

## 4 Consultas ao Professor

As consultas ao professor podem ser feitas em horários e em locais a serem divulgados na *homepage* da disciplina. Os alunos também podem consultar o professor pelos *e-mails*:

[jpaulo@uerj.br](mailto:jpaulo@uerj.br) e [jpaulo@lee.eng.uerj.br](mailto:jpaulo@lee.eng.uerj.br)

### 4.1 Mais informações

Para obter mais informações (datas das provas, trabalhos, listas de exercícios, etc.), o aluno deverá consultar frequentemente a *homepage* da disciplina:

<http://www.lee.eng.uerj.br/~jpaulo/contri.html>

## Referências

- Ávila, G. (2000). *Variáveis Complexas e Aplicações*, 3<sup>a</sup> edn, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Chen, C.-T. (1999). *Linear System Theory and Design*, 3<sup>rd</sup> edn, Oxford University Press.
- D’Azzo, J. J. & Houpis, C. H. (1984). *Análise e Projeto de Sistemas de Controle Lineares*, 2<sup>a</sup> edn, Guanabara Dois.
- Ogata, K. (1993). *Engenharia de Controle Moderno*, 2<sup>a</sup> edn, Prentice-Hall do Brasil.
- Ogata, K. (1998). *Engenharia de Controle Moderno*, 3<sup>a</sup> edn, Livros Técnicos e Científicos S.A.
- Ogata, K. (2003). *Engenharia de Controle Moderno*, 4<sup>a</sup> edn, Pearson Brasil.
- Ogata, K. (2010). *Engenharia de Controle Moderno*, 5<sup>a</sup> edn, Pearson Brasil.