

# Planejamento da Disciplina Sistemas Lineares

Professor José Paulo Vilela Soares da Cunha

2 de março de 2020

## Identificação

**UERJ**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Eletrônica e Telecomunicações**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica**

**Assunto:** Planejamento para a disciplina no primeiro semestre de 2020.

**Turma:** 01

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

**Homepage:** <http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/sistemas-lineares.html>

## 1 Tópicos desta Disciplina

Nesta disciplina aborda-se a análise e o controle de sistemas lineares e invariantes no tempo (*linear time-invariant* — LTI) (Chen 1999, Seção 2.3), enfatizando-se técnicas baseadas no espaço de estado. Os sistemas considerados são determinísticos, com parâmetros concentrados e o tempo é contínuo.

Os principais tópicos são:

1. Introdução.
2. Revisão de sistemas dinâmicos:
  - (a) Sistemas dinâmicos e sua modelagem;
  - (b) Equação de estado;
  - (c) Resposta impulsiva e função de transferência;
  - (d) Linearização.
3. Revisão de álgebra linear.
4. Solução da equação de estado.
5. Realizações de funções de transferência.
6. Estabilidade.
7. Controlabilidade e observabilidade.
8. Realimentação de estado.
9. Observadores de estado.
10. Realizações de ordem mínima.

## 2 Referências Bibliográficas

O *livro texto* recomendado para esta disciplina é (Chen 1999, 3<sup>a</sup> Edição). Atualmente está disponível (Chen 2012, 4<sup>a</sup> Edição) que poderá ser adotado pelos alunos. Entretanto, este planejamento está organizado de acordo com (Chen 1999, 3<sup>a</sup> Edição). Outra referência clássica para sistemas lineares é o livro (Kailath 1980), que poderá ser adotado pelo aluno como alternativa ou em complemento ao livro (Chen 1999, Chen 2012).

É recomendável que os alunos revisem voluntariamente tópicos de controle convencional usualmente apresentados em cursos de graduação em engenharia. Para isto recomenda-se os livros (Castrucci, Bittar & Sales 2011, Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998, D’Azzo & Houpis 1984). Qualquer uma destas referências é adequada a esta revisão, bem como outros livros básicos de controle linear. Os livros (Ogata 2010, Ogata 2003, Ogata 1998) apresentam diversos exemplos de análise e projeto de sistemas de controle empregando o *software* [MatLab](#), que é uma ferramenta importante nas áreas de controle e sistemas lineares. Chen (1999) e Chen (2012) também apresentam alguns exemplos desenvolvidos com o auxílio do MatLab.

Também é recomendável que o aluno estude álgebra linear, fundamental neste curso. Para isto, sugere-se que curse a disciplina *Métodos Matemáticos para Controle*. Além disso, recomenda-se os livros (Strang 2003), (Strang 2010) ou (Noble & Daniel 1986) que abordam mais profundamente a álgebra linear, embora a revisão desse tema apresentada por Chen (1999, Capítulo 3) também seja adequada.

### 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. 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).

#### 3.1 Introdução

Os capítulos introdutórios de (Castrucci et al. 2011, Capítulo 1) e (Ogata 2003, Capítulo 1) apresentam alguns exemplos da aplicação de controladores. Chen (1999, Capítulo 1) apresenta de forma bastante direta o que será abordado nesta disciplina.

#### 3.2 Revisão de sistemas dinâmicos, sua modelagem, equação de estado, linearização, resposta impulsiva e função de transferência

Para o aluno que deseja iniciar por uma revisão mais básica, recomenda-se o estudo das Seções 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.7, 3.8, 3.10 e do Exemplo A.3.23 de Ogata (2003).

Então, o aluno que já realizou essa revisão ou já está familiarizado com esses tópicos poderá revê-los de uma forma concisa nas seguintes seções do livro texto (Chen 1999): 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 e 2.7.

São recomendados os exercícios 2.1 a 2.11, 2.14 a 2.21 (Chen 1999).

Recomenda-se (Ogata 2003, Capítulo 4) para o aluno interessado em sistemas pneumáticos, hidráulicos ou térmicos.

### 3.3 Revisão de álgebra linear

A *álgebra linear é fundamental* para a análise de sistemas lineares, não-lineares e tantas outras áreas de engenharia, matemática e física. Esta revisão utilizará as Seções 3.1 a 3.6 e 3.8 a 3.11 do livro texto (Chen 1999), que apresentam tópicos fundamentais para a análise e o projeto de sistemas lineares de forma bastante concisa.

São recomendados os exercícios 3.1 a 3.14, 3.16 a 3.18, 3.21, 3.24 a 3.30 e 3.33 a 3.38 (Chen 1999).

Recomenda-se que o aluno utilize algum livro especializado em álgebra linear e suas aplicações para complementar este curso, sugerindo-se os livros (Strang 2003), (Strang 2010) ou (Noble & Daniel 1986).

### 3.4 Solução da equação de estado

A resposta de sistemas LTI em tempo contínuo e a solução da equação de estado são apresentadas nas Seções 4.1 e 4.2 do livro texto (Chen 1999), excluindo-se as Seções 4.2.1 e 4.2.2.

São recomendados os exercícios 4.1 e 4.2 (Chen 1999).

### 3.5 Realizações de funções de transferência

Recomenda-se as Seções 4.3, 4.3.1 e 4.4 do livro texto (Chen 1999). Além disso, recomenda-se a excelente apresentação de *realizações canônicas* para funções de transferência de sistemas LTI com uma entrada e uma saída (*single-input-single-output* — SISO) desenvolvida nas Seções 2.1 a 2.2.1 de (Kailath 1980), que podem ser parcialmente substituídas pela Seção 11.2 e pelos exemplos A.11.1 a A.11.5 do livro (Ogata 2003).

São recomendados os exercícios 4.4 e 4.6 a 4.15 (Chen 1999).

### 3.6 Estabilidade

Recomenda-se as Seções 5.1, 5.2 e 5.3 do livro texto (Chen 1999), excluindo-se as Seções 5.2.1 e 5.3.1.

São recomendados os exercícios 5.1 a 5.7, 5.9 a 5.11. (Chen 1999).

Recomenda-se, também, que o aluno estude as condições de estabilidade de Routh-Hurwitz na Seção 5.7 e nos exemplos A.5.19 a A.5.21 do livro (Ogata 2003). As condições de estabilidade de Nyquist são apresentadas nas Seções 8.7 a 8.9 do livro (Ogata 2003) ou nas Seções 5.6 a 5.8 do livro (Castrucci et al. 2011).

### 3.7 Controlabilidade e observabilidade

Recomenda-se as Seções 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 do livro texto (Chen 1999), excluindo-se as Seções 6.2.1 e 6.3.1.

São recomendados os exercícios 6.1 a 6.5 e 6.8 a 6.18 (Chen 1999).

### 3.8 Realimentação de estado

Recomenda-se as Seções 8.1, 8.2, 8.3, 8.6 do livro texto (Chen 1999), excluindo-se as Seções 8.2.1, 8.6.2 e 8.6.4.

São recomendados os exercícios 8.1, 8.2, 8.4 a 8.7, 8.10 e 8.13 (Chen 1999).

### 3.9 Observadores de estado

Recomenda-se as Seções 8.4, 8.5, 8.7 e 8.8 do livro texto (Chen 1999). Sugere-se estudar os *observadores de ordem reduzida* através da abordagem de Friedland (1996, Seção 37.3), em vez daquela apresentada na Seção 8.4.1 do livro (Chen 1999).

São recomendados os exercícios 8.11 e 8.12 (Chen 1999).

### 3.10 Realizações de ordem mínima

Recomenda-se as Seções 7.1 e 7.2 do livro texto (Chen 1999).

São recomendados os exercícios 7.1 a 7.3 e 7.12 (Chen 1999).

## 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 através dos *e-mails*:

[jpaulo@uerj.br](mailto:jpaulo@uerj.br) e [jpaulo@ieee.org](mailto:jpaulo@ieee.org)

### 4.1 Mais informações

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

<http://www.lee.uerj.br/~jpaulo/sistemas-lineares.html>

## Referências

- Castrucci, P. B. L., Bittar, A. & Sales, R. M. (2011). *Controle Automático*, LTC.
- Chen, C.-T. (1999). *Linear System Theory and Design*, 3<sup>rd</sup> edn, Oxford University Press.
- Chen, C.-T. (2012). *Linear System Theory and Design*, 4<sup>th</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.
- Friedland, B. (1996). Observers, in W. S. Levine (ed.), *The Control Handbook*, CRC Press, chapter 37, pp. 607–618.
- Kailath, T. (1980). *Linear Systems*, Prentice Hall.
- Noble, B. & Daniel, J. W. (1986). *Álgebra Linear Aplicada*, 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.
- Strang, G. (2003). *Introduction to Linear Algebra*, 3<sup>rd</sup> edn, Wellesley Cambridge Press.
- Strang, G. (2010). *Álgebra Linear e suas Aplicações*, Cengage.