



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Mecânica

Rodovia BR 050, KM 78, Bloco 1D, 2º andar - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 2512-6779/6778 - www.mecanica.ufu.br - femec@mecanica.ufu.br



## PLANO DE ENSINO

### 1. IDENTIFICAÇÃO

|                        |                                |                |    |           |               |              |              |
|------------------------|--------------------------------|----------------|----|-----------|---------------|--------------|--------------|
| Componente Curricular: | Controle Digital de Sistemas   |                |    |           |               |              |              |
| Unidade Ofertante:     | FEMEC                          |                |    |           |               |              |              |
| Código:                | FEMEC 42701                    | Período/Série: | 7o | Turma:    | V*            |              |              |
| Carga Horária:         |                                |                |    | Natureza: |               |              |              |
| Teórica:               | 45                             | Prática:       | 15 | Total:    | 60            | Obrigatória: | Optativa ( ) |
| Professor(A):          | Pedro Augusto Queiroz de Assis |                |    |           | Ano/Semestre: | 2023/1       |              |
| Observações:           |                                |                |    |           |               |              |              |

### 2. EMENTA

Processos e sistemas a discretos: modelagem e princípios de identificação de processos, dinâmica, análise e síntese de sistemas realimentados. Controladores e reguladores industriais. Implementação de controladores digitais. Técnicas e ferramentas de análise, simulação e projeto de controladores industriais. Introdução a Sistemas Embarcados.

### 3. JUSTIFICATIVA

Segundo o Projeto Pedagógico do Curso – PPC (página 33) um dos objetivos do curso é “Fornecer uma formação multidisciplinar contemplando os conceitos básicos das várias áreas afeitas à engenharia mecânica, eletroeletrônica e computação incluindo, microprocessadores, controle de máquinas e processos via computador”. Portanto, a presente disciplina é de fundamental importância para que o discente entenda como a implementação de sistemas de controle analógico pode ser realizada por meio de dispositivos digitais. Mais ainda, os efeitos da amostragem são discutidos e os cenários nos quais um controlador analógico pode ser implementado digitalmente sem perdas significativas de desempenho são estudados. Por fim, métodos de projeto diretamente no domínio discreto utilizando a Transformada Z e a representação no espaço de estados são apresentados.

### 4. OBJETIVO

**Objetivo Geral:** Estudar a implementação de sistemas de controle utilizando dispositivos digitais.

**Objetivos Específicos:** Mostrar como um controlador analógico pode ser implementado digitalmente (emulação). Discutir os efeitos da amostragem. Apresentar como a escolha do período de amostragem influencia no desempenho da planta e fatores que limitam inferiormente e superiormente esse período. Projetar controladores diretamente no tempo discreto utilizando a Transformada Z e a representação no espaço de estados. Aplicar os conceitos estudados em

aulas práticas.

## 5. PROGRAMA

### 5.1. PROGRAMA DE AULAS TEÓRICAS

| Data     | Conteúdo   |
|----------|--|
| 09/03/23 | Introdução ao curso.<br>Conceitos fundamentais: Modelo matemáticos, estabilidade, função de transferência.<br>Apresentação do Plano de Ensino.             |
| 16/03/23 | Sistemas discretos.<br>Equação a diferenças.<br>Transformada Z.  |
| 23/03/23 | Função de transferência discreta.<br>Relação entre plano $s$ e $z$ .<br>Estabilidade de sistemas de controle digital.<br>Critério de estabilidade de Jury. |
| 30/03/23 | Representação discreta do conjunto: D/A – Processo – A/D.<br>Efeitos da amostragem.<br>Teorema da amostragem.  |
| 06/04/23 | Projeto de controladores por emulação: Mapeamento de polos e zeros, Integração numérica, Equivalente por segurador de ordem zero.                          |

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 |   |
| 20/04/23        | Caraterísticas de desempenho transitório no plano Z.<br>Erro de regime permanente.  |
| 27/04/23        | LGR.<br>Projeto no domínio Z utilizando o LGR.  |
| <b>04/05/23</b> | <b>Provinha 1.</b>  |
| <b>11/05/23</b> | <b>Prova 1.</b>   |
| 18/05/23        | Representação de sistemas no espaço de estados.<br>Transformação linear.<br>Sistemas discretos em espaço de estados.<br>Relação entre função de transferência e a forma do espaço de estados. |
| 25/05/23        | Projeto realimentação de estados.<br>Projeto de observador de estados.<br>Combinação entre regulador e observador de estados.   |
| 01/06/23        | Introdução de referências constantes.   |
| <b>15/06/23</b> | <b>Provinha 2.</b>  |
| <b>22/06/23</b> | <b>Prova 2.</b>   |

|                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| <b>29/06/23</b> | <b>Reposição de provas.</b> |
| <b>06/07/23</b> | <b>Prova substitutiva.</b>  |

## 5.2. PROGRAMA DE AULAS PRÁTICAS

| Data     |          |   |
|----------|----------|---|
| VA       | VB       | Conteúdo  |
| 13/03/23 | 20/03/23 | Introdução à utilização do Arduino.                                   |
| 27/03/23 | 03/04/23 | Simulação numérica de sistemas de controle.                           |
| 10/04/23 | 17/04/23 | Identificação de sistemas lineares.                                   |
| 24/04/23 | 08/05/23 | Emulação de controladores analógicos.                                 |
| 15/05/23 | 22/05/23 | Comportamento de sistemas discretos.                                  |
| 29/05/23 | 05/06/23 | Projeto de controlador no LGR a tempo discreto.                       |
| 13/06/23 | 19/06/23 | Projeto de sistema de controle no espaço de estados a tempo discreto. |

## 6. METODOLOGIA

## 6.1. DESCRIÇÃO DE ATIVIDADES E DIVISÃO DE CARGAS HORÁRIAS

O curso será composto por aulas teóricas e práticas. A Tabela 1 detalha como será ministrado o curso.

Tabela 1 – Descrição de atividades do curso.

| <b>Tipo de atividade</b> | <b>Descrição</b>  |
|--------------------------|---|
| Aulas teóricas           | Apresentação do conteúdo e resolução de exemplos  |
| Aulas práticas           | Experimentos para ilustração de conceitos com auxílio de roteiro e códigos preenchidos parcialmente. Tais aulas serão realizadas com auxílio de Arduino UNO |

## 6.2 AVALIAÇÃO E ASSIDUIDADE

A avaliação do aproveitamento do curso será composta por realização de questionários, atividades de aulas práticas. A pontuação de cada atividade é detalhada na Seção 7. Haverá uma prova substitutiva, cujo conteúdo está detalhado na próxima seção.

**Os questionários serão realizados nas datas apontadas na Seção 5.**

## 6.3 PROVA SUBSTITUTIVA

No horário de aula, na data apontada na Seção 5, será aplicada uma prova substitutiva. A nota de tal prova **substituirá a pior nota de prova**. O conteúdo será toda matéria ministrada no curso.

**Somente poderão fazer a prova substitutiva discentes com nota final menor que 60 pontos. Em caso, de aprovação, a nota final será 61 pontos.**

## 7. AVALIAÇÃO

O sistema de avaliação consiste de provas e provinhas. A tabela a seguir mostra a distribuição dos 100 pontos:

Tabela 1 – Pontuação no sistema de avaliação

| Item de avaliação         | Qtd. | Valor unitário | Valor total do item | Obs.                 |
|---------------------------|------|----------------|---------------------|----------------------|
| Prova                     | 2    | 34             | 68                  | Individual           |
| Provinha                  | 2    | 10             | 20                  | Grupo de 2 discentes |
| Atividade de aula prática | 6    | 2              | 12                  | -                    |
| <b>TOTAL</b>              |      |                | <b>100</b>          |                      |

\* Não haverá reposição de aulas práticas.

## 8. BIBLIOGRAFIA

### BÁSICA

FRANKLIN, G F.; POWELL, J. D.; WORKMAN, M. *Digital Control of Dynamic Systems*. 3<sup>a</sup> ed. Menlo Park: Addison-Wesley, 1998.

OGATA, K. *Discrete-time Control Systems*. 2<sup>a</sup> ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1994.

FADALI, M. S.; VISIOLI, A. *Digital Control Engineering – Analysis and Design*. 2<sup>a</sup> ed. Amsterdam: Elsevier, 1995.

### COMPLEMENTAR

HEMERLY, E. M. *Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos*. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Blucher, 2000.

ASSUNÇÃO, E. *Controle Digital*. 1<sup>a</sup> ed. Ilha Solteira: 2013. Departamento de Engenharia Elétrica. UNESP.

ÅSTRÖM, Karl J.; WITTENMARK, Björn. *Computer-controlled systems: theory and design*. Courier Corporation, 2013.

FRIEDLAND, Bernard. *Control system design: an introduction to state-space methods*. Courier Corporation, 2012.

PHILLIPS, Charles L.; NAGLE, H. Troy. *Digital control system analysis and design*. Prentice Hall Press, 2007.

## 9. APROVAÇÃO

Aprovado em reunião do Colegiado realizada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Coordenação do Curso de Graduação: \_\_\_\_\_



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Augusto Queiroz de Assis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/01/2023, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4226041** e o código CRC **EF6AF214**.

**Referência:** Processo nº 23117.005106/2023-92

SEI nº 4226041