

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

<b>DISCIPLINA:</b> Controle Robusto	<b>CÓDIGO:</b>
-------------------------------------	----------------

**Validade:** A partir do 2º semestre de 2024.

**Carga Horária:** 60 horas-aula

**Créditos:** 04

**Área de Concentração / Módulo:** Modelagem e Controle de Sistemas / Módulo de Disciplinas Optativas (MDO)

### Ementa:

Representação de sistemas no espaço de estado. Estabilidade. Incertezas e dependência paramétrica. Fundamentos para controle robusto: convexidade, LMIs, complemento de Schur, transformações de congruência, procedimento S. Análise de Estabilidade e Síntese de Controladores por realimentação de estados via segundo método de Lyapunov, casos contínuo e discreto no tempo: *i)* precisamente conhecidos, *ii)* incertos; *iii)* variantes no tempo. Desempenho: estabilidade exponencial, D-estabilidade, custos  $H_2$  e  $H_\infty$ . Relaxações de LMIs. Lema de Finsler. Soluções polinomiais para formulações robustas. Sistemas com atrasos nos estados. Realimentação dinâmica de saída.

### INTERDISCIPLINARIDADES

#### Inter-relações desejáveis

É desejável que os conteúdos abordados na disciplina Controle Robusto tenham relações diretas, principalmente, com as **disciplinas** *Sistemas Multivariáveis* e *Análise e Projeto no Espaço de Estados* e outras que venham a ser ofertadas na área de sistemas não-lineares. Em termos de **linhas de pesquisa**, esta disciplina relaciona-se diretamente com as linhas de *Análise e Modelagem de Sistemas* e *Sistemas de Controle*, ambas da área de concentração *Modelagem e Controle de Sistemas*.

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

### Objetivos - Possibilitar ao estudante os seguintes conhecimentos:

- Compreender as representações de incertezas principalmente na forma limitada em norma e politópica.
- Compreender os conceitos de estabilidade assintótica (quadrática e robusta).
- Desenvolver formulações convexas para a análise de estabilidade robusta.
- Desenvolver formulações convexas para a síntese de controladores robustos.
- Aplicar o Complemento de Schur no âmbito de problemas de controle robusto.
- Aplicar o Lema de Finsler no âmbito de problemas de controle.
- Utilizar pacotes de otimização para resolver desigualdades matriciais lineares.
- Estender o conceito de estado para sistema com atrasos nos estados.
- Estudar condições para estabilidade robusta e síntese de ganho de realimentação de estados para sistemas incertos com atrasos nos estados.

### Métodos Didáticos Utilizados

Marque com um X no quadro:

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula expositiva em quadro  | <input checked="" type="checkbox"/> Seminário           |
| <input type="checkbox"/> Aula com uso de transparência         | <input checked="" type="checkbox"/> Pesquisa            |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aula com uso de multimídia | <input checked="" type="checkbox"/> Trabalho individual |
| <input type="checkbox"/> Aula prática                          | <input checked="" type="checkbox"/> Trabalho em grupo   |
| <input type="checkbox"/> Discussão de texto                    | <input type="checkbox"/> Visita técnica                 |
| <input type="checkbox"/> Filme                                 | <input type="checkbox"/> Outros: _____                  |

Unidades de ensino		Carga-horária Horas-aula
1	<b>Introdução</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Representação de sistemas no espaço de estado. Estabilidade. Incertezas e dependência paramétrica.</li></ul>	6
2	<b>Fundamentos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fundamentos para controle robusto: convexidade, LMIs,</li></ul>	4

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

	complemento de Schur, transformações de congruência, procedimento S.	
3	<b>Análise de estabilidade e projeto de controladores estabilizantes</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Análise de Estabilidade e Síntese de Controladores por realimentação de estados via segundo método de Lyapunov, casos contínuo e discreto no tempo: <i>i)</i> precisamente conhecidos, <i>ii)</i> incertos; <i>iii)</i> variantes no tempo. Programação usando YALMIP e SeDuMi</li></ul>	14
4	<b>Relaxações e condições equivalentes de estabilidade</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Funções de Lyapunov Dependentes de parâmetros; Relaxações</li><li>Lema de Finsler; Condições equivalentes.</li><li>Condições combinadas</li></ul>	8
5	<b>Condições de desempenho</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Estabilidade exponencial, D-estabilidade, custos <math>H_2</math> e <math>H_\infty</math>.</li></ul>	8
6	<b>Formulações convexas para critérios de desempenho</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Soluções polinomiais para formulações robustas.</li></ul>	3
7	<b>Realimentação dinâmica de saída</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Formulações convexas para realimentação de saída</li></ul>	2
8	<b>Sistemas com atrasos nos estados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Conceito de estado; simulações de sistemas com atrasos nos estados; funcionais de Lyapunov-Krasovskii; condições convexas para análise de estabilidade e síntese de realimentação de estados.</li></ul>	3
	<b>Total</b>	48

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

### Métodos de Avaliação

Trabalhos computacionais (45 pontos), Lista de exercícios (25 pontos) e Trabalho final / seminário (30 pontos).

*Nota: Para a realização das atividades é obrigatório o uso de recursos computacionais e softwares de programação (matlab ou linguagem Python). O professor não ensinará linguagem de programação, sendo este conhecimento um pré-requisito para cursar a disciplina.*

### Informações adicionais

A disciplina será realizada de **forma híbrida** com base na Instrução normativa PPGEL 003/2023, DE 28 DE ABRIL DE 2023.

#### **DIVISÃO DE HORAS:**

- Atividades Presenciais:
  - Total de Horas: 12 horas/aula (três encontros presenciais);
  - Local: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais ( CEFET-MG) no Campus Divinópolis em sala informada pelo PPGEL;
  - Dedicado aos seminários apresentados pelos alunos e acompanhamento de atividades do trabalho final.
  - O calendário será informado no início do semestre com base no calendário institucional.
- Atividades Remotas:
  - Total de Horas: 48 horas (12 semanas);
  - Síncronas: 36 horas de encontros síncronos ministrados pelo docente (3 horas/aula nas semanas em que não ocorrer as atividades presenciais);
  - Assíncronas: 12 horas para os alunos se prepararem para os encontros síncronos (1 hora nas semanas em que não ocorrer as atividades presenciais);
  - O professor disponibilizará material didático e os alunos deverão se preparar para os encontros síncronos.

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



## Plano de Ensino

- **Endereço:** Será disponibilizado antes do início do semestre

**PLATAFORMA A SER UTILIZADA:** As atividades síncronas na plataforma Microsoft Teams;

**PRESENÇA:** É obrigatória a presença nos encontros presenciais e síncronos (usados para quantificar a presença nas atividades remotas).

**RECURSOS:** Nesta disciplina, o uso de áudio (microfone) e vídeo (câmera) é obrigatório nos encontros síncronos por parte dos discentes. P

**CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO:** O discente será aprovado se simultaneamente obtiver:

- Mínimo de 75% de presença;
- Mínimo de 60% da nota final, obtida por soma simples.

### Bibliografia Básica

1. CAVALERY, R. J. and FORBES, J. R.. (2021) LMI Properties and Applications in Systems, Stability, and Control Theory, disponível em <https://arxiv.org/pdf/1903.08599.pdf>
2. BOYD, S.; GHAOUI, L. El; FERON, E. and BALAKRISHNAN, V. "Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory". SIAM Studies in Applied Mathematics, Philadelphia, PA, 1994. disponível em <https://web.stanford.edu/~boyd/lmibook/lmibook.pdf>
3. SCHERER, C. and WEILAND S. (2015) Linear Matrix Inequalities in Control. Disponível em <https://www.imng.uni-stuttgart.de/mst/files/LectureNotes.pdf>
4. DUAN, G.-R. and YU, H.-H. (2013) LMIs in control systems: analysis, design and applications. CRC Press.

### Bibliografia Complementar

1. CHEN, C. T. "Linear System Theory and Design". Holt Sannders Int. Edit., 1984.
2. SKELTON, R. E.; IWASAKI, T. and GRIGORIADIS, K. A. "Unified Algebraic Approach to Linear Control Design". Taylor & Francis, Bristol, PA, 1998.
3. Teses de doutorado e artigos científicos disponibilizados ao longo do curso.