

Bem vind@s !

A disciplina **SEM0232-Modelos Dinâmicos** tem como objetivo principal introduzir ao aluno de graduação a **abordagem sistêmica** no estudo de sistemas dinâmicos. Dentre os vários objetivos a que se destina esta disciplina, destacam-se:

- Apresentar e discutir técnicas de modelagem de sistemas dinâmicos com especial atenção aos sistemas mecânicos e eletromecânicos. Formular modelos de sistemas bem como identificar suas características fundamentais (entradas, saídas).
- Apresentar e discutir o conceito de função de transferência (FT) bem como suas aplicações na modelagem e estudo da resposta de sistemas dinâmicos.
- Apresentar e discutir o conceito de resposta em frequência de sistemas dinâmicos bem como suas aplicações no projeto de sistemas de controle.

A disciplina SEM0232 será ministrada através de aulas teórico-expositivas presenciais, sendo complementadas por aulas de exercícios teóricos e computacionais, também presenciais. Serão distribuídas várias listas de exercícios visando uma melhor fixação dos conceitos teóricos estudados em sala. O conteúdo programático da disciplina será dividido em duas partes, sendo cada uma delas subdividida em módulos de aprendizado. A primeira parte do conteúdo destina-se à exploração de técnicas de modelagem em diversas áreas de interesse com o objetivo principal de obter-se modelos matemáticos de fenômenos físicos. A segunda parte do conteúdo da disciplina será dedicada ao estudo da resposta de modelos dinâmicos. Neste caso, busca-se a solução das equações diferenciais do modelo tanto no domínio do tempo quanto no da frequência. No transcorrer da segunda parte da disciplina poderão ser aplicados exercícios computacionais na forma de miniprojetos, oferecendo assim a oportunidade ao estudante de realizar simulações computacionais para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos de um determinado modelo dinâmico. A Figura 1 abaixo ilustra a importantíssima e já acima mencionada **visão sistêmica**. É fundamental que o estudante tenha contato com este conceito logo no início da disciplina, pois ele acompanhará e norteará as discussões ao longo do semestre.

## Modelos Dinâmicos SEM0232

Docentes Responsáveis:



Prof. Tit. Paulo S. Varoto  
Prof. Dr. Luiz A. M. Gonçalves



varoto@sc.usp.br  
mgoncalv@sc.usp.br



Sala 29107, MKT (3373-9423)



<http://lattes.cnpq.br/7641830348967730>

Info da Disciplina:



Ter. 10:10-11:50 Sala C03  
Qui. 10:10-11:50 Sala C03



Requisito: SME0340



Formato: Presencial



<https://edisciplinas.usp.br>

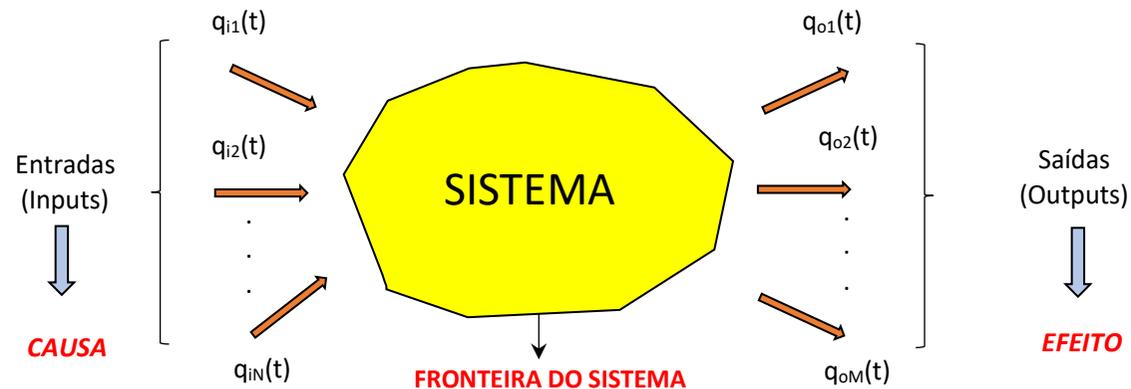


Figura 1 – Visão sistêmica com entradas e saídas

Vale a pena conferir !

## Tacoma Narrows, USA



[https://www.youtube.com/watch?v=IXyG68\\_caV4](https://www.youtube.com/watch?v=IXyG68_caV4)

## Millenium Bridge, UK



[https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium\\_Bridge,\\_London](https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Bridge,_London)  
[https://www.youtube.com/watch?v=eAXVa\\_\\_XWZ8](https://www.youtube.com/watch?v=eAXVa__XWZ8)

## Flutter - aeronaves

<https://www.youtube.com/watch?v=iTFZNRtYp3k>

<https://www.youtube.com/watch?v=Q9eW9ZDfLE>

<https://www.youtube.com/watch?v=6aoAuW6UtUM>

[https://www.youtube.com/watch?v=S1-OYP9\\_seQ](https://www.youtube.com/watch?v=S1-OYP9_seQ)

<https://www.youtube.com/watch?v=nRit6tcNT4s>

De forma simplificada, a Figura 1 mostra os principais agentes envolvidos na análise de um determinado fenômeno físico através da visão sistêmica. Inicialmente definimos o que se entende por **SISTEMA**. Trata-se de um conceito extremamente geral, podendo ser aplicado à praticamente todas as áreas do conhecimento. No contexto da engenharia contemporânea, entenderemos **SISTEMA** como um todo ou parte de um todo que se separa para estudo. Por exemplo, a suspensão de um automóvel é o sistema em estudo e faz parte de um todo (o veículo). De forma análoga, pretende-se analisar o comportamento do veículo e, neste caso, o sistema seria o veículo (o todo). Nestes dois exemplos vemos que o **SISTEMA** possui uma **FRONTEIRA** ou seja, uma linha divisória (geométrica) que o separa do todo. A fronteira do sistema não necessariamente precisa ser uma entidade física, que separa os integrantes do sistema do todo, podendo ser inclusive imaginária. Imagine que deseja-se estudar através da visão sistêmica o processo inflacionário de um determinado país, ou mesmo a evolução de uma epidemia em um dado local. Em ambos os casos, o sistema não necessariamente possui uma fronteira física, podendo ser fictícia, e mais, não necessariamente é fixa, ou seja, podendo o sistema agregar um número maior de elementos e ou variáveis. Conforme também ilustrado na Figura 1, sobre o sistema agem as entradas (inputs), causando então o surgimento das saídas (outputs). As entradas, que são agentes que, de forma geral, provocam distúrbios no sistema, e são geralmente independentes do mesmo, ocasionam o surgimento das saídas que, também de forma geral, são as respostas do sistema às entradas aplicadas. O conjunto entradas + sistema + saídas constitui-se o que denominamos **MODELO DINÂMICO** de um determinado sistema (fenômeno) físico. Um modelo dinâmico nada mais é do que uma representação matemática do sistema com suas entradas e saídas. A palavra **MODELO** refere-se aqui a um conjunto de equações (geralmente diferenciais) que, matematicamente, representam o sistema. Já a palavra **DINÂMICO** refere-se ao fato de observarmos as possíveis variações do modelo tendo o tempo como variável independente.

### Requisitos

O requisito formal de SEM0232 – Modelos Dinâmicos é a disciplina SME0340 – Equações Diferenciais Ordinárias e, de acordo com o Sistema Júpiter, trata-se de um requisito fraco. Deve-se entender no entanto que, esta classificação do requisito como fraco é somente para fins de cumprimento de normas para realização de matrícula em SEM0232 ou seja, na prática, o conteúdo de SEM0340 é de grande importância para que o estudante leve a termo as atividades da presente disciplina. Em particular, o método de solução de Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs) através da Transformada de Laplace será de grande utilidade, principalmente durante a segunda parte da disciplina de Modelos Dinâmicos. Embora SME0340 seja o único requisito forma para SEM0232, a disciplina fará uso de diversos outros conceitos já anteriormente estudados pelo aluno em área como: Dinâmica de Corpos Rígidos (SEM0501); Eletricidade e Magnetismo (SEM0410); Mecânica dos Sólidos (SET0183); Termodinâmica e Dinâmica dos Fluidos (7600006).

### Conteúdo

O conteúdo de SEM0232 está organizado em 7 módulos, cada um deles organizado em unidades de aprendizagem (UA). Prevê-se, inicialmente, que cada UA possua a duração de 01 semana. A organização do conteúdo em UA foi especialmente pensada para o desenvolvimento presencial das atividades da disciplina, buscando-se combinar de forma harmônica o tempo de sala de aula e o tempo que o aluno deverá dedicar-se aos estudos, fora de sala de aula. Ver Tabela 1 para conteúdo.

Integra o conteúdo da disciplina SEM0232, por P.S. Varoto e L.A.M. Gonçalves e é licenciado pelos autores como BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Tabela 1 – Organização do Conteúdo e Carga Horária de SEM0232 – Modelos Dinâmicos

**Planejamento da disciplina SEM0232 – Modelos Dinâmicos – Mecânica – 1º SEM/2024**  
**UA – Unidade de Aprendizagem (semanas); AE – Atividades do Estudante; CH – Carga Horária (horas)**

Módulo	UA	Conteúdo	Objetivos	AE	CH
I Introdução	01	Apresentação da Disciplina Revisão de Transformada de Laplace Exercícios	- Apresentar formalmente a disciplina - Apresentar e discutir preliminarmente conceitos importantes a serem desenvolvidos durante o semestre - Realizar uma revisão de Laplace em EDOs - Apresentar o conceito de Função Transferência	- Atendimento às aulas - Listas de exercícios - Revisão de material	4
II Elementos e Sistemas Mecânicos	03	Elemento massa Elemento mola Elemento amortecedor Modelos mecânicos	Apresentar os elementos fundamentais para a modelagem de sistemas mecânicos, massa, mola e amortecedor. Derivar suas relações de entrada e saída individuais. Apresentar exemplos de modelos de sistemas mecânicos	- Atendimento às aulas - Listas de Exercícios - Exercícios especiais <sup>1</sup>	12
III Elementos e Sistemas Elétricos e Eletromecânicos	03	Elemento resistência elétrica Elemento capacitância elétrica Elemento indutância elétrica Elemento amplificador operacional Modelos elétricos e eletromecânicos	Apresentar os elementos fundamentais para a modelagem de sistemas elétricos, resistência, capacitância e indutância. Derivar suas relações de entrada e saída individuais. Apresentar exemplos de modelos de sistemas mecânicos. Discutir analogias eletromecânicas. Apresentar e discutir modelos eletromecânicos	- Atendimento às aulas - Listas de exercícios - Exercícios especiais <sup>1</sup>	12
IV Elementos e Sistemas Fluidicos	02	Elemento resistência fluidica Elemento capacitância fluidica Elemento inércia fluidica Modelos fluidicos Linearização de Modelos	Discutir elementos para a modelagem de sistemas fluidicos, massa, resistência e capacitância. Apresentar e discutir as relações de entrada e saída para os elementos à luz das variáveis de pressão e vazão. Apresentar exemplos de sistemas fluidicos. Apresentar modelos não lineares e técnicas de linearização.	- Atendimento às aulas - Listas de exercícios - Exercícios especiais <sup>1</sup>	8
V Elementos e Sistemas Térmicos	01	Elemento resistência térmica Elemento capacitância térmica Modelos de sistemas térmicos	Apresentar e discutir os elementos para a modelagem de sistemas térmicos, a resistência e capacitância térmica. Apresentar e discutir suas relações de entrada e saída individuais, e discutir exemplos.	- Atendimento às aulas - Listas de exercícios - Exercícios especiais <sup>1</sup>	4
VI Resposta de Sistemas 1ª e 2ª Ordem no Domínio do Tempo	03	Modelo geral de um sistema de 1ª e 2ª ordem. Parâmetros físicos do sistema. Resposta do sistema à entradas padrão (degrau, rampa, impulso, combinadas).	Apresentar e discutir a forma geral de um sistema de 1ª e 2ª ordem, destacando seus parâmetros e discutindo seu significado físico. Discutir a resposta no domínio do tempo para sistemas de 1ª e 2ª ordem a entradas padrão. Apresentar exemplos de modelos	- Atendimento às aulas - Listas de exercícios - Exercícios especiais <sup>1</sup> - Exercícios computacionais <sup>2</sup>	12
VII Resposta em Frequência e Variáveis de Estado	02	Resposta em frequência de sistemas de 1ª e 2ª ordem. Resposta em frequência geral Modelos de estado de um sistema	Apresentar e discutir o conceito de resposta em frequência para sistemas de 1ª e 2ª ordem. Generalizar o conceito de resposta em frequência. Apresentar e discutir exemplos.	- Atendimento às aulas - Listas de exercícios - Exercícios especiais <sup>1</sup> - Exercícios computacionais <sup>2</sup>	8
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>				<b>60</b>

<sup>1</sup>Exercícios em atividades síncronas presenciais e assíncronas não presenciais. <sup>2</sup>Exercícios com auxílio de ferramentas computacionais (MATLAB®, Python, Octave®, etc)



## Organização e Cronograma de Aulas

A disciplina SEM0232 terá atividades presenciais e não presenciais. As atividades presenciais, serão realizadas no horário oficial da disciplina, terças-feiras e quintas-feiras, das 10:10 – 11:50 Hs. Estas atividades terão frequência obrigatória, com lista de presença disponibilizada em sala de aula, durante o período da aula. As atividades presenciais tem como objetivo apresentar e discutir os conceitos teóricos da disciplina bem como aprofundá-los através de exercícios resolvidos em conjunto com o docente e, em outras situações, somente pelos estudantes. As atividades não presenciais serão de responsabilidade dos alunos, e nelas, sugere-se fortemente uma prática constante de revisão dos conceitos teóricos discutidos em sala de aula bem como dedicação à solução das listas de exercícios e eventuais exercícios especiais que serão disponibilizados via e-disciplinas. Os Docentes responsáveis farão uso do sistema e-disciplinas para a disponibilização de listas de exercícios e outros materiais complementares para a fixação e aprofundamento dos conceitos discutidos nas aulas presenciais. A Tabela 2 mostra o cronograma de aulas com datas de feriados e provas em destaque

Tabela 2 – Cronograma de aulas de SEM0232 – Modelos Dinâmicos – 1º SEM/2024

Mês/Semana	1		2		3		4		5	
Fevereiro									27	29
Março	5	7	12	14	19	21	26	28		
Abril	2	4	9	11	16	18	23	25 <sup>P1</sup>	30	
Maio		2	7	9	14	16	21	23	28	30
Junho	4	6	11	13	18	20	25	27 <sup>P2</sup>		
Julho	2									

Início/Fim do Semestre      Feriados – Dias sem aula      Provas

## Avaliações

A avaliação da disciplina SEM0232 será composta de duas provas obrigatórias com suas datas e demais regramentos definidos abaixo:

- Prova 1 (P1): 25/04/2024, quinta feira tendo início as 10:10 hs e com duração de 100 minutos. O conteúdo desta prova compreende o material de 27/02/2024 à 23/04/2024.
- Prova 2 (P2): 27/06/2024, quinta-feira tendo início as 10:10 hs e com duração de 100 minutos. Esta avaliação compreende o conteúdo de todo o semestre letivo, ou seja, de 27/02/2024 à 25/06/2024. Portanto, **a segunda avaliação é compreensiva, podendo cobrir todo o conteúdo ministrado durante o semestre letivo.**
- As provas serão presenciais e sem consulta. Eventuais materiais de consulta serão disponibilizados pelo Docente responsável.

Prova 1 : 25/04/2024  
Prova 2 : 27/06/2024

## Critério de Aprovação

A média final ( $M_f$ ) do estudante será calculada através de:

$$M_f = \frac{P_1 + 2P_2}{3} \geq 5,0$$

Onde  $P_1$  e  $P_2$  são as notas das provas (escala de 0 a 10,0).

**IMPORTANTE: Eventuais exercícios especiais disponibilizados durante o semestre poderão entrar como crédito adicional para o cômputo da media final do estudante !**

## Bibliografia

Para o conteúdo programático da disciplina

- Felício, L. C., Modelagem da Dinâmica de Sistemas e Estudo da Resposta, Rima, 2007.
- Doebelin, E. O., System Dynamics: modeling, analysis, simulation, design, Marcel Dekker, 1998.
- Material complementar em <https://edisciplinas.usp.br/>

Sobre as ferramentas computacionais:

O estudante poderá fazer uso de qualquer ferramenta computacional que lhe melhor convier. Segue uma lista de programas e ou linguagens comumente usadas:

- MATLAB® (<https://www.mathworks.com>) (A USP possui a licença 2015 disponível para a graduação)
- Octave® (<https://www.gnu.org/software/octave/download>) (aberto)
- Scilab® (<https://www.scilab.org>) (aberto)
- Python (<https://jupyter.org>)
- C e C++

