

**ENG 1204 – ANÁLISE DE ESTRUTURAS II – 2º Semestre – 2020**  
**Revisão do programa: revisão 03**

**Profs.:** **Luiz Fernando Martha** (e-mail: lfm@tecgraf.puc-rio.br)  
**André Fregolente** (e-mail: andrefregolente@gmail.com)

**Homepage do curso no Ambiente de Aprendizagem Online da PUC-Rio:**  
<https://ead.puc-rio.br/login/index.php>

**Horários das aulas online síncronas:** 2ª feira: 9:00-11:00 hs – 4ª feira: 9:00-11:00 hs.

**Referências:**

1. Martha, L.F., *Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos*, 2ª Edição, Editora GEN LTC (originalmente Editora Elsevier), ISBN 978-85-352-8625-0, 2017. Disponível no site da editora: <https://www.grupogen.com.br/analise-de-estruturas>.
2. Süsskind, J.C., *Curso de Análise Estrutural – Vol. 2: Deformações em Estruturas, Método das Forças – Vol. 3: Método das Deformações, Processo de Cross*, Editora Globo, 1977.
3. Soriano, H.L. e Lima, S.S., *Análise de Estruturas v. 1. Métodos das Forças e Métodos dos deslocamentos*; Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006
4. White, R.N., Gergely, P. e Sexsmith, R.G., *Structural Engineering – Combined Edition – Vol. 1: Introduction to Design Concepts and Analysis – Vol. 2: Indeterminate Structures*, John Wiley, New York, 1976.

**Ementa:**

**Grau G1:**

Conceitos básicos de análise estrutural. Modelos estruturais, equilíbrio e compatibilidade. Princípio da superposição de efeitos e comportamento linear. Princípio dos trabalhos virtuais. Cálculo de deslocamentos em estruturas. Método das Forças: pórticos. Consideração de cargas aplicadas, variação de temperatura e recalques de apoio.

**Grau G2:**

Método das Forças: grelhas. Método dos Deslocamentos: Conceitos básicos. Coeficientes de rigidez. Quadros com barras extensíveis. Aplicação do método para quadros com barras inextensíveis. Estruturas deslocáveis e indeslocáveis.

**Grau G3:**

Criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas. Consideração de cargas acidentais e móveis na análise de estruturas: linhas de influência e envoltórias de esforços para estruturas isostáticas e hiperestáticas.

**Datas das questões dos graus**

| <b>Grau – Questão / Prova</b> | <b>Assunto</b>  | <b>Aplicação/Entrega</b> |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| G1 – Questão 1 (1,5 pontos)   | Simulação computacional do Método das Forças utilizando o Ftool                                 | 24-Ago / 31-Ago          |
| G1 – Questão 2 (1,0 ponto)    | Escolha do SP e interpretação física do termos de carga e coeficientes de flexibilidade         | 31-Ago / 09-Set          |
| G1 – Questão 3 (4,5 pontos)   | Método das Forças para cargas aplicadas em pórtico plano  | 09-Set / 21-Set          |
| G1 – Questão 4 (3,0 pontos)   | Método das Forças para cargas aplicadas, variação de temperatura e recalque de apoio em pórtico | 21-Set / 28-Set          |

| Grau – Questão / Prova      | Assunto   | Aplicação/Entrega |
|-----------------------------|---|-------------------|
| G2 – Questão 1 (2,5 pontos) | Método das Forças para cargas aplicadas em grelha   | 28-Set / 05-Out   |
| G2 – Questão 2 (1,5 pontos) | Simulação computacional do Método dos Deslocamentos utilizando o Ftool  | 05-Out / 14-Out   |
| G2 – Questão 3 (3,0 pontos) | Método dos Deslocamentos para pórticos planos com barras extensíveis  | 19-Out / 26-Out   |
| G2 – Questão 4 (3,0 pontos) | Método dos Deslocamentos com barras inextensíveis e articulações completas  | 16-Nov / 23-Nov   |
| G3 – Questão 1 (1,5 pontos) | Obtenção de envoltórias de mínimos e máximos de esforços cortantes e momentos fletores utilizando o Ftool   | 23-Nov / 30-Nov   |
| G3 – Questão 2 (4,0 pontos) | Linhas de influência e consideração de cargas acidentais e móveis   | 02-Dez / 14-Dez   |
| G3 – Questão 3 (4,5 pontos) | Apresentação dos projetos finais da criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas<br><b>Especificação completa do projeto final aplicada em 09/Out e entrega das apresentações no dia 07/Dez, 9 hs, para todas as equipes.</b> | 09-Out / 07-Dez   |

### Critério de Aprovação

- As questões dos graus G1, G2 e G3 não têm segunda chamada. Para efeito de aprovação e cálculo do Grau Final (GF), caso o aluno não tenha feito, independentemente do motivo, uma ou mais das questões dos graus G1, G2 ou G3, a nota correspondente da questão será zero. A segunda chamada em caso de falta à Prova Final (PF) segue a regulamentação da Universidade para este caso em específico.

$$2. \text{ Se } \begin{cases} G1 \geq 5,0 \\ G2 \geq 5,0 \\ G3 \geq 5,0 \end{cases} \quad \text{ou} \quad \text{se} \quad \frac{G1+G2+G3}{3} \geq 6,0$$

então o aluno será considerado **aprovado** com  $GF = \frac{G1+G2+G3}{3}$ .

Caso contrário, a nota da prova final PF será usada, de acordo com o item 3 abaixo.

- O aluno que não se enquadrar nos casos do item 2 deverá realizar, necessariamente, a prova final PF. Sendo  $G_m$  e  $G_n$  as duas maiores notas dos graus G1, G2 e G3, o grau final GF será calculado conforme os dois casos a seguir:

(a) se  $PF \geq 3,0$ , então  $GF = \frac{G_m + G_n + PF}{3}$  e o aluno será considerado **aprovado** se  $GF \geq 5,0$ .

Caso contrário estará **reprovado**.

(b) se  $PF < 3,0$ , então  $GF = \frac{G1+G2+G3+3PF}{6}$ , e o aluno estará **reprovado**.

- A nota da prova final PF poderá ser utilizada para melhorar o GF de qualquer aluno que tenha sido aprovado nos casos do item 2, desde que isso seja solicitado pelo próprio aluno. Neste caso,  $GF = \frac{G_m + G_n + PF}{3}$  se  $GF \geq 5,0$ , ou mantém o GF do item 2.

**ROTEIRO DAS AULAS**

| Aula |        |      | Assunto   | Vídeos                           | Seções do livro                                     |
|------|--------|------|---|----------------------------------|---|
| 1    | 24/Ago | 2ª f | <b>Introdução</b><br>Introdução à análise estrutural; modelo estrutural; consideração sobre equilíbrio e compatibilidade. Introdução ao Método das Forças. Apresentação do Ftool.<br><b>G1 – Questão 1</b> (1,5 pontos) – Simulação computacional do Método das Forças utilizando o Ftool (entrega 31/Ago).   | Vídeo 01                         | 1.1-1.3<br>4.1-4.2<br>8.1                           |
| 2    | 26/Ago | 4ª f | <b>Método das Forças aplicado a pórticos: introdução</b><br>Metodologia de análise de uma estrutura hiperestática pelo método das forças. Definição de hiperestáticos. Definição de sistema principal (SP). Classificação dos tipos de condições de compatibilidade. Simulação computacional do método das forças utilizando o Ftool.   | Vídeo 02                         | 2.1-2.2<br>3.8<br>4.1.2<br>8.1-8.3                  |
| 3    | 31/Ago | 2ª f | <b>Método das Forças aplicado a pórticos: introdução (cont.)</b><br>Escolha do SP para o método das forças. Solução conceitual de viga contínua pelo método das forças com liberação de vínculos externos de apoio e com liberação de continuidade de rotação para criação do SP. Caracterização dos tipos de liberação de vínculo na criação do SP. Análise dos tipos de hiperestáticos, termos de carga e coeficientes de flexibilidade de acordo com a solução adotada para o SP.<br><b>G1 – Questão 2</b> (1,0 ponto) – Escolha do SP e interpretação física do termos de carga e coeficientes de flexibilidade (entrega 09/Set). | Vídeo 03<br>Vídeo 04             | 8.3-8.5   |
| 4    | 02/Set | 4ª f | <b>Princípio das Forças Virtuais aplicado no Método das Forças</b><br>Princípio das forças virtuais (PFV) para o cálculo de deslocamentos e rotações em estruturas, particularizado para estruturas isostáticas. Determinação dos termos de carga e coeficientes de flexibilidade pelo PFV. Revisão sobre traçado de diagramas de esforços internos em vigas e pórticos isostáticos. Solução do exemplo de viga contínua com três vãos para o sistema principal em que são retirados os vínculos dos apoios interiores e para o sistema principal com introdução de rótulas nas seções dos apoios interiores.                         | Vídeo 05<br>Vídeo 06<br>Vídeo 07 | 7.1-7.3.1<br>8.3-8.4<br>3.1-3.2<br>3.6<br>3.7-3.7.6 |
|      | 07/Set | 2ª f | FERIADO SETE DE SETEMBRO  |                                  |   |
| 5    | 09/Set | 4ª f | <b>Método das Forças: metodologia para escolha do Sistema Principal</b><br>Revisão de decomposição de vigas Gerber isostáticas e decomposição de pórticos compostos isostáticos. Revisão de solução de pórticos isostáticos compostos. Preocupações que se deve ter na escolha do sistema principal para pórticos hiperestáticos. Exemplos de determinação de sistema principal. Soluções de pórticos planos hiperestáticos pelo método das forças.<br><b>G1 – Questão 3</b> (4,5 pontos) – Método das Forças para cargas aplicadas em pórtico plano (entrega 21/Set).  | Vídeo 08<br>Vídeo 09<br>Vídeo 10 | 3.7.7<br>3,8<br>8.5-8.7                             |
| 6    | 14/Set | 2ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b>  |                                  |   |
| 7    | 16/Set | 4ª f | <b>Método das Forças considerando variação de temperatura e recalque de apoio</b><br>Diferença de comportamento entre modelos estruturais isostáticos e hiperestáticos. Exemplos simples para efeitos isolados de temperatura e recalque de apoio. Generalização do princípio das forças virtuais (PFV) para cálculo de deslocamentos em estruturas isostáticas para cargas aplicadas, para variação de temperatura e para recalques de apoio.  | Vídeo 11<br>Vídeo 12             | 4.5<br>7.3.2-<br>7.3.3                              |
| 8    | 21/Set | 2ª f | <b>Método das Forças considerando variação de temperatura e recalque de apoio (cont.)</b><br>Solução de exemplo de pórtico hiperestático com cargas aplicadas, variação de temperatura e recalque de apoio.<br><b>G1 – Questão 4</b> (3,0 pontos) – Método das Forças para cargas aplicadas, variação de temperatura e recalque de apoio em pórtico (entrega 28/Set).   | Vídeo 13                         | 8.8-8.10  |
| 9    | 23/Set | 4ª f | <b>Método das Forças aplicado a grelhas</b><br>Análise estrutural de grelhas. Definição do modelo estrutural de grelhas. Comparação do modelo de grelha com o modelo de pórtico plano no diz respeito às componentes de deslocamentos, rotações, forças, momentos e esforços internos. Exemplo de solução de grelha isostática.   | Vídeo 14<br>Vídeo 15             | 2.4; 3.5<br>3.7.9<br>3.8.4                          |

| Aula |        |      | Assunto   | Vídeos               | Seções do livro                      |
|------|--------|------|---|----------------------|--------------------------------------|
| 10   | 28/Set | 2ª f | <b>Método das Forças aplicado a grelhas (cont.)</b><br>Aplicação do método das forças à análise de grelhas hiperestáticas. Resumo do princípio das forças virtuais (PFV) para determinação de deslocamentos em grelhas isostáticas solicitadas por cargas aplicadas. Exemplos de solução de grelhas hiperestáticas pelo método das forças.<br><b>G2 – Questão 1</b> (2,5 pontos) – Método das Forças para cargas aplicadas em grelha (entrega 05/Out).  | Vídeo 16<br>Vídeo 17 | 7.3<br>8.12-8.13                     |
| 11   | 30/Set | 4ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b>  |                      |                                      |
| 12   | 05/Out | 2ª f | <b>Método dos Deslocamentos para pórticos com barras sem restrições em deformações</b><br>Introdução ao método dos deslocamentos; considerações sobre compatibilidade e equilíbrio no método dos deslocamentos; definição de deslocabilidades; definição de sistema hipergeométrico. Simulação computacional do método dos deslocamentos utilizando o Ftool.<br><b>G2 – Questão 2</b> (1,5 pontos) – Simulação computacional do Método dos Deslocamentos utilizando o Ftool (entrega 14/Out). | Vídeo 18             | 5.9<br>10.1-10.2                     |
| 13   | 07/Out | 4ª f | <b>Método dos Deslocamentos para pórticos com barras sem restrições em deformações (cont.)</b><br>Coeficientes de rigidez e termos de carga no método dos deslocamentos. Convenção de sinais para esforços internos no método dos deslocamentos. Solução de viga contínua pelo método dos deslocamentos.  | Vídeo 19             | 10.3-10.5                            |
|      | 12/Out | 2ª f | FERIADO N. SRA. APARECIDA   |                      |                                      |
| 14   | 14/Out | 4ª f | <b>Método dos Deslocamentos para pórticos com barras sem restrições em deformações (cont.)</b><br>Solução de pórtico simples com 3 deslocabilidades.<br>Solução de pórtico simples com 6 deslocabilidades e articulação interna.  | Vídeo 20<br>Vídeo 21 | 10.6-<br>10.6.2                      |
| 15   | 19/Out | 2ª f | <b>Método dos Deslocamentos para pórticos com barras sem restrições em deformações (cont.)</b><br>Solução de pórtico com 3 deslocabilidades e barra inclinada. Dedução dos coeficientes de rigidez local de barra. Matriz de rigidez local e cálculo de esforços internos em barras.<br><b>G2 – Questão 3</b> (3,0 pontos) – Método dos Deslocamentos para pórticos planos com barras extensíveis (entrega 26/Out).   | Vídeo 22<br>Vídeo 23 | 10.6.3<br>9.1-9.2.8<br>13.6<br>13.12 |
| 16   | 21/Out | 4ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b><br>Entregas e apresentação das etapas 1 – Concepção estrutural; 2 – Pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares / estimativa de cargas; e 3 – Modelagem estrutural no Revit.   |                      |                                      |
| 17   | 26/Out | 2ª f | <b>Método dos Deslocamentos com redução de deslocabilidades</b><br>Comportamento linear e superposição de efeitos. Não linearidade geométrica.<br>Método dos deslocamentos com redução de deslocabilidades. Classificação das simplificações adotadas para reduzir o número de deslocabilidades.  | Vídeo 24<br>Vídeo 25 | 4.3-4.4<br>11-11.2                   |
| 18   | 28/Out | 4ª f | <b>Método dos Deslocamentos: consideração de barras inextensíveis e articulações</b><br>Introdução à consideração de barras inextensíveis. Classificação de deslocabilidades externas (translações) e deslocabilidade internas (rotações). Consideração de barras inextensíveis. Conceito de contraventamento de pórticos. Regras para determinação de deslocabilidades externas.   | Vídeo 26             | 5.11-5.12<br>11.3                    |
|      | 02/Nov | 2ª f | FERIADO FINADOS   |                      |                                      |
| 19   | 04/Nov | 4ª f | <b>Método dos Deslocamentos: consideração de barras inextensíveis e articulações (cont.)</b><br>Simplificação para desconsiderar no método dos deslocamentos deslocabilidades do tipo rotação para nós completamente articulados. Procedimento para desconsiderar deslocabilidade interna (rotação) de nó de apoio do segundo gênero no qual só converge uma barra. Regras para determinação de deslocabilidades internas.  | Vídeo 27<br>Vídeo 28 | 11.4-<br>11.4.4                      |
| 20   | 09/Nov | 2ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b><br>Entrega e apresentação das etapas 4 – Definição do modelo analítico no Robot; e 5 – Levantamento de cargas (NBR 6120) / combinações de carregamento (NBR 8681).   |                      |                                      |

| Aula |        |      | Assunto  | Vídeos   | Seções do livro   |
|------|--------|------|--|----------|-------------------|
| 21   | 11/Nov | 4ª f | <b>Método dos Deslocamentos: consideração de barras inextensíveis e articulações (cont.)</b><br>Exemplo de solução de pórticos com barras inextensíveis: pórtico com barras inextensíveis ortogonais.  | Vídeo 29 | 11.6              |
| 22   | 16/Nov | 2ª f | <b>Método dos Deslocamentos: consideração de barras inextensíveis e articulações (cont.)</b><br>Exemplo de solução de pórticos com barras inextensíveis: pórtico com barras inextensíveis formando um triângulo<br><b>G2 – Questão 4</b> (3,0 pontos) – Método dos Deslocamentos com barras inextensíveis e articulações completas (entrega 23/Nov).   | Vídeo 30 | 11.6              |
| 23   | 18/Nov | 4ª f | <b>Consideração de cargas acidentais e móveis na análise de estruturas</b><br>Introdução à consideração de cargas acidentais e móveis na análise de estruturas. Classificação das cargas atuantes em uma estrutura de acordo com a posição e a atuação temporal: cargas permanentes; cargas acidentais e cargas móveis. Introdução à consideração de cargas móveis e acidentais em estruturas. Conceito de envoltórias de mínimos e máximos efeitos para cargas acidentais e móveis. Demonstração de envoltórias no Ftool.                       | Vídeo 39 | 14-14.1<br>14-11  |
| 24   | 23/Nov | 2ª f | <b>Consideração de cargas acidentais e móveis na análise de estruturas (cont.)</b><br>Introdução a linhas de influência. Uso de linhas de influência para determinar posições críticas de carga acidental e móvel que minimizam ou maximizam um determinado efeito. Introdução à linhas de influência para viga biapoiada com balanço: traçado baseado em solução analítica.<br><b>G3 – Questão 1</b> (1,5 pontos) – Obtenção de envoltórias de mínimos e máximos de esforços cortantes e momentos fletores utilizando o Ftool (entrega 30/Nov). | Vídeo 40 | 14.1-14.2         |
| 25   | 25/Nov | 4ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b><br>Entrega e apresentação da etapa 6 – Avaliação dos esforços estruturais no Robot: configuração deformada, diagrama de esforços internos e envoltórias.  |          |                   |
| 26   | 30/Nov | 2ª f | <b>Consideração de cargas acidentais e móveis na análise de estruturas (cont.)</b><br>Determinação de envoltórias de esforços cortantes mínimos e máximos e de momentos fletores mínimos e máximos em viga biapoiada com balanços.   | Vídeo 41 | 14.3              |
| 27   | 02/Dez | 4ª f | <b>Consideração de cargas acidentais e móveis na análise de estruturas (cont.)</b><br>Método cinemático para o traçado de linhas de influência: Princípio de Müller-Breslau. Linhas de influência para vigas Gerber isostáticas e vigas contínuas.<br>Determinação de envoltórias de esforços cortantes mínimos e máximos e de momentos fletores mínimos e máximos em vigas hiperestáticas.<br><b>G3 – Questão 2</b> (4,0 pontos) – Linhas de influência e consideração de cargas acidentais e móveis (entrega 14/Dez).                          | Vídeo 42 | 14.4<br><br>14.11 |
| 28   | 07/Dez | 2ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b><br><b>G3 – Questão 3</b> (4,5 pontos) – etapa 7 – Finalização do anteprojeto das formas no Revit e apresentação dos projetos finais da criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas. <b>Entrega das apresentações no dia 07/Dez, 9 hs para todas as equipes.</b>  |          |                   |
| 29   | 09/Dez | 4ª f | <b>MPI: criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas</b><br><b>G3 – Questão 3</b> (4,5 pontos) – etapa 7 – Finalização do anteprojeto das formas no Revit e apresentação dos projetos finais da criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas.  |          |                   |
| 30   | 14/Dez | 2ª f | Aula de revisão e encerramento do período  |          |                   |
| 31   | 21/Dez | 2ª f | PROVA FINAL ORAL.  |          |                   |