



## 2ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Novembro de 2017

*Absolutamente sem consulta. A interpretação das questões faz parte da prova.*

*Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos.*

Durações sugeridas: parte teórica 1 h; parte numérica 3 h

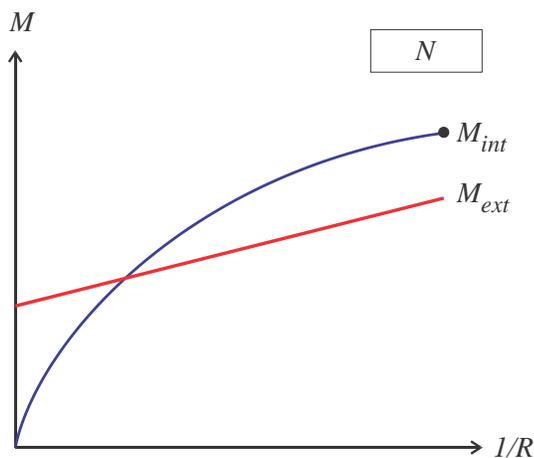
### PARTE TEÓRICA

**1ª Questão** O dimensionamento ótimo, *lato sensu*, de uma única seção transversal pode trazer dificuldades operacionais, pelo elevado número de casos, quando se consideram os diversos parâmetros e seus valores usuais práticos e respectivas precisões (dimensões da seção, número de camadas de barras, bitolas comerciais, posicionamento das barras, tipos de aços e de concretos...), isso sem considerar a interação entre alguns destes parâmetros e os próprios esforços aplicados (peso próprio alterando a força normal e o momento fletor, por exemplo), as restrições de norma (área mínima, área máxima, cobrimentos, espaçamentos...) e os custos (materiais, fôrmas, mão-de-obra...).

Descreva como pode ser realizada a otimização da área de armadura no problema de dimensionamento clássico e, ainda, o que pode ser feito para aumentar o escopo desta otimização, incluindo (progressivamente?) os parâmetros citados acima.

**2ª Questão** A figura seguinte, no plano  $1/R \times M$ , sintetiza a análise de estabilidade de um pilar constante isostático, sob força normal  $N$  constante, buscando-se o equilíbrio entre o momento externo (atuante)  $M_{ext}$  e o momento interno (resistente)  $M_{int}$ , para uma seção de referência (por simplicidade considere apenas momentos fletores positivos e seção duplamente simétrica). Pede-se uma explicação detalhada para a obtenção numérica (precisa e eficiente) da:

- Curva de momentos resistentes  $M_{int}$ ?
- Curva de momentos atuantes  $M_{ext}$  utilizando o processo:
  - Pilar Padrão (Coluna Modelo)?
  - Diferenças Finitas?



Questão	1	2a	2b.1	2b.2
Valor	2,0	1,0	1,0	1,0

## Alguns resultados e comentários

### 1ª Questão

Esperava-se a descrição, objetiva, do problema de dimensionamento (equações, incógnitas) e os detalhes do procedimento de otimização (bissecção?) incluindo, caso apropriado, explicações sobre a verificação e cálculo de esforços resistentes.

A seguir digressões sobre como ampliar a otimização, com considerações diferentes da enumeração simples da variação dos parâmetros já citados na primeira parte do enunciado...

### 2ª Questão

a) Será que o melhor a ser comentado seria, mesmo, o método do passo em momento fletor com verificações sucessivas?

b1) Além de uma contextualização teórica da simplificação, esperava-se algo além de uma descrição da solução gráfica, ainda que numérica, do problema.

b2) Esta curva existe? Ou seria um único ponto? Mas simplesmente descrever o processo das Diferenças Finitas não resolve este item, resolve?



## 2ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Novembro de 2017

*Consulta livre (menos a seres humanos, próximos ou distantes), utilização de softwares gerais liberada. Utilização de programas e planilhas previamente confeccionados pelo próprio aluno liberada (é obrigatória a entrega de cópia eletrônica ao final da prova, aplicada ao item de questão, conforme documentação da solução em papel). A interpretação das questões faz parte da prova.*

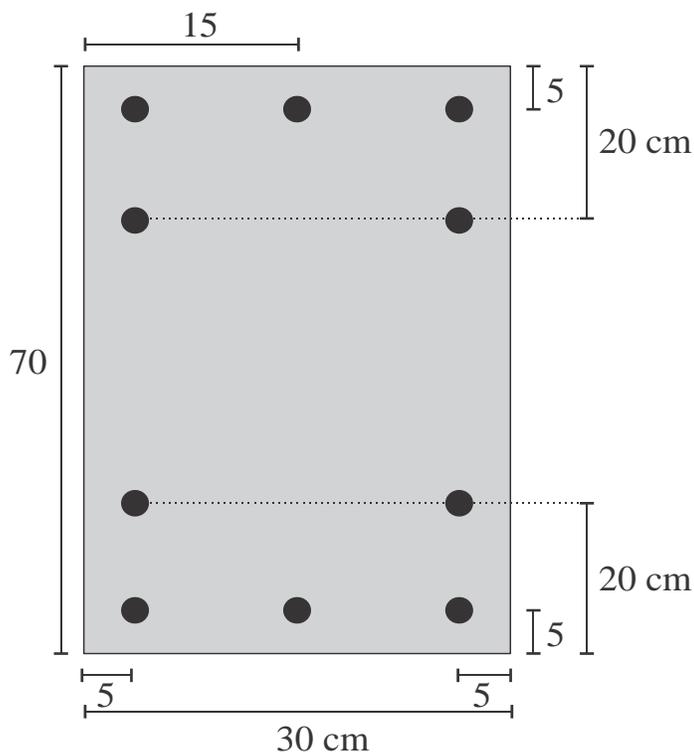
*Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos. Sempre explicita a **distribuição de deformações** (eventualmente da seção mais solicitada) na documentação da solução.*

*Caso pertinente, faça uma **escolha de bitola** coerente com os resultados.*

Parte numérica: duração sugerida de 3 h

### PARTE NUMÉRICA

- Aço CA-50 ( $f_{yk} = 500$  MPa;  $\gamma_s = 1,15$ ;  $E_s = 210$  GPa).
- Concreto C75, diagrama não linear ( $f_{ck} = 75$  MPa,  $\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck}/\gamma_c$  e  $\gamma_c = 1,40$ ).
- Esforços de cálculo aplicados:  $N_d = 1,204$  MN (força de compressão, aplicada no CG de  $A_c$ ) e  $M_d = 0,200$  MN·m (ver contexto).
- Arranjo de armadura com barras de mesma bitola, conforme figura seguinte (fora de escala, cotas em centímetros).
- Únicos diâmetros  $\phi$  das barras a serem considerados (mm): 10,0; 25,0 e 40,0.



**3ª Questão** Dimensione a área de armadura total mínima (em  $\text{cm}^2$ ) para o par  $(N_d, M_d)$  considerando, pela “regra da mão direita”:

- a) Vetor momento horizontal.
- b) Vetor momento vertical.

**4ª Questão** Considere um pilar engastado-livre constante, com comprimento geométrico  $L = 9$  m, com a seção dada (utilizando armadura  $10\phi 10$ ) e somente o par  $(N_d, M_d)$  aplicado na extremidade livre do pilar (vetor momento horizontal). Pede-se:

a) Verifique a estabilidade do pilar com os processos do Pilar Padrão (Coluna Modelo) e das Diferenças Finitas, comparando as flechas máximas.

b) Qual é o máximo comprimento  $L$  (número inteiro, em metros) possível para este pilar, com estes mesmos processos?

Questão	3a	3b	4a	4b
Valor	1,0	1,0	2,0	1,0

## Alguns resultados e comentários

### 3ª Questão

a) Seção 30x70 com 4 camadas de barras. A área total mínima, teórica, é nula, equilibrando os esforços com uma distribuição de deformações dada por  $(\varepsilon_o; k) = (0, 2099; 1, 0666 \text{ m}^{-1})$ . Utilizando-se a menor bitola disponível no enunciado,  $10\phi 10$  ( $7,854 \text{ cm}^2$ ), a seção se equilibra com  $(0, 2068; 0, 9904 \text{ m}^{-1})$ .

b) a) Seção 70x30 com 3 camadas de barras. A área total mínima, teórica, é de  $10,4980 \text{ cm}^2$ , equilibrando os esforços com uma distribuição de deformações dada por  $(\varepsilon_o; k) = (-2, 7858; 35, 9755 \text{ m}^{-1})$ . Utilizando-se a menor bitola que atende à esta área,  $10\phi 25$  ( $49,09 \text{ cm}^2$ ), a seção se equilibra com  $(-0, 0940; 7, 9952 \text{ m}^{-1})$ .

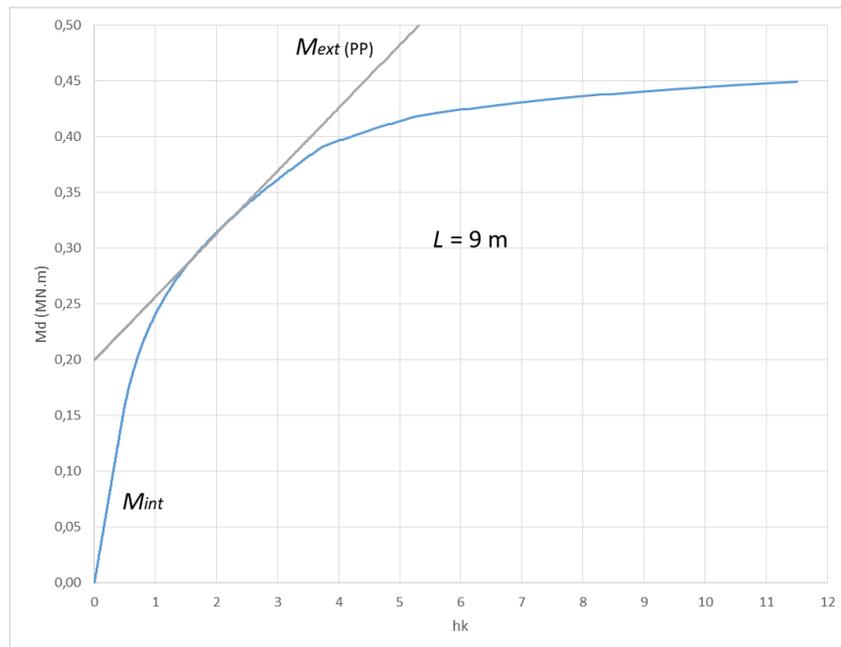
Observa-se que somente verificações não respondem à pergunta feita (área mínima) e que eram esperadas as distribuições de deformações, conforme enunciado.

### 4ª Questão

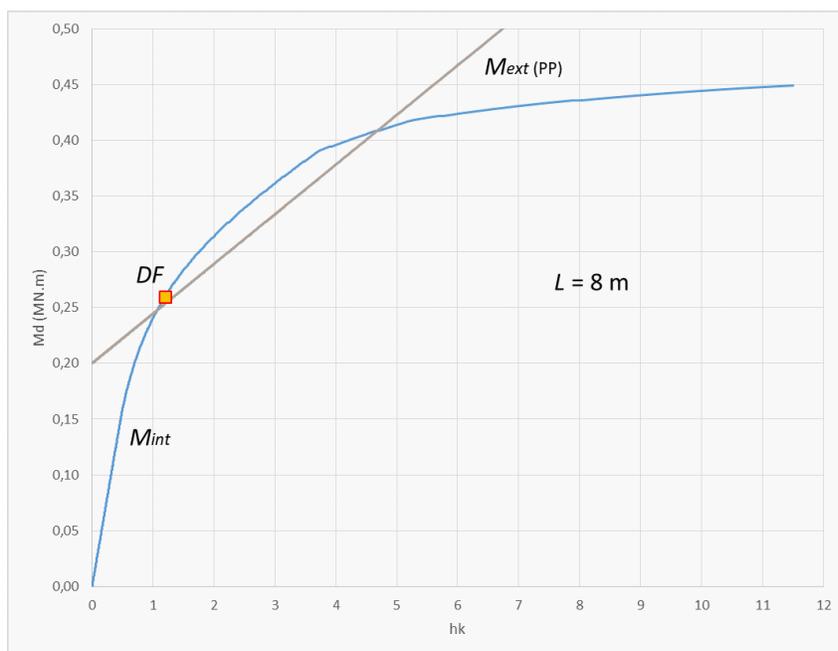
As verificações por Diferenças Finitas (DF) foram feitas dividindo-se o pilar em 100 trechos.

a) Observa-se que por DF o pilar não apresenta equilíbrio, obtendo-se ruptura. Na iteração 39 a flecha máxima era de  $f = 23, 39 \text{ cm}$  com uma distribuição de deformações na seção crítica de  $(-1, 5830; 10, 1559 \text{ m}^{-1})$ . Portanto o pilar não suporta os esforços por DF.

Com o processo do Pilar Padrão (PP) o equilíbrio é alcançado para uma flecha de  $7,4 \text{ cm}$  e uma distribuição de deformações na seção crítica de  $(0, 0624; 2, 2569 \text{ m}^{-1})$ , conforme pode-se apreciar na figura seguinte, no plano  $hk \times M_d$ , onde  $h = 0,7 \text{ m}$  é a altura da seção e apresentam-se as curvas para o momento atuante ( $M_{ext}$  externo) e o momento resistente ( $M_{int}$  interno). Note que as conclusões distintas depõem contra o processo PP, que é simplificado.



b) O maior comprimento, inteiro em metros, considerando DF é  $L = 8 \text{ m}$ , equilibrando-se com uma flecha de  $4,98 \text{ cm}$  e uma distribuição de deformações na seção crítica de  $(0, 1366; 1, 7090 \text{ m}^{-1})$ . Para este mesmo comprimento, a título de comparação, o processo PP fornece uma flecha de  $3,92 \text{ cm}$ , mais uma vez contra a segurança. Estes resultados podem ser apreciados na figura seguinte, no mesmo plano já comentado.



O maior comprimento, inteiro em metros, considerando PP é  $L = 9 \text{ m}$ , valendo os resultados do item (a) anterior.