



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

Prof. Flávio Mendes Neto

Outubro de 2014

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

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

*Se for impossível resolver a questão com os dados fornecidos, argumente e passe para a próxima.*

Durações máximas: parte teórica 1 h 30 min; parte numérica 2 h 30 min

### PARTE TEÓRICA

**1ª Questão** Considerando o dimensionamento da área de armadura de uma seção fixa submetida a um par  $(N_d, M_d)$ , confronte as metodologias FNC e nFNC para arranjos “pré-fixados” e “livre em duas camadas” em termos de:

- Custo da peça.
- Facilidade de programação e precisão dos resultados.
- Comportamento do método quando um, ou outro, ou ambos os esforços aplicados tendem a zero.

**2ª Questão** As rigidezes da seção transversal têm papel fundamental na análise (não linear) do equilíbrio e da estabilidade. Considerando a seção definida no plano  $x - y$ , pode-se definir a rigidez genérica com

$$R_{ij} = \iint D(\varepsilon) y^{i+j-2} dx dy$$

com  $i, j = \{1, 2\}$  e onde  $D(\varepsilon)$  é a derivada do diagrama tensão-deformação do material componente considerado

$$D(\varepsilon) = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}.$$

Pede-se:

a) Em qual(is) condição(ões) as rigidezes podem ser, realmente, consideradas constantes? E nulas? E positivas?

b) Esquematize um diagrama Momento-Normal-Curvatura (abscissa: curvatura; ordenada: momento) para uma seção com uma única camada de barras na parte inferior da seção (considere momentos e curvaturas positivos ou negativos). Ressalte a rigidez à flexão neste esboço.

|         |     |     |
|---------|-----|-----|
| Questão | 1   | 2   |
| Valor   | 3,0 | 2,0 |

Alguns resultados e comentários

**1ª Questão** Por questões de clareza, para cada um dos itens pedidos (a), (b) e (c), a questão se referia aos quatro itens esquematizados na tabela

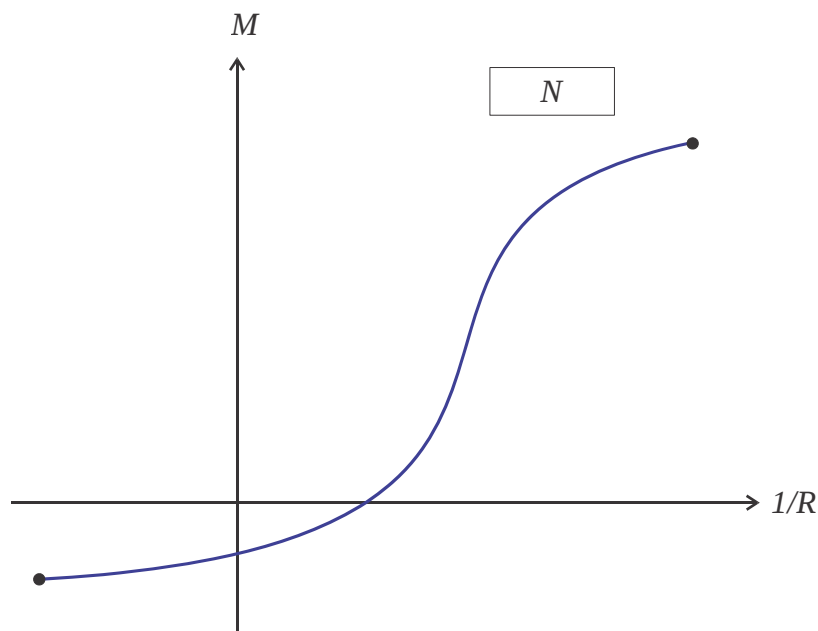
| Arranjo/método        | FNC | nFNC |
|-----------------------|-----|------|
| Pré-fixado            | 1   | 2    |
| Livre em duas camadas | 3   | 4    |

Era esperada uma argumentação coerente com os princípios teóricos amplamente discutidos em sala de aula.

**2ª Questão**

a) Algumas respostas foram muito particularizadas por conta de só considerarem a derivada  $D(\varepsilon)$  com valores específicos, sem refletir sobre a questão da multiplicação pelo fator  $y^{i+j-2}$ .

b) É importante observar que a mera apresentação de um esboço, sem qualquer argumentação ou justificativa, não é suficiente como resposta ainda que a questão peça um “esquema”. Algumas das características da curva (tais como sinais, módulos, início e fim) devem ser objeto de racionalização. Importantíssimo, também, satisfazer ao enunciado considerando os sinais negativos dos momentos fletores. A título de “provocação” segue, propositadamente sem comentários, um esboço (mas, pelo menos, com indicação das quantidades representadas nos eixos):





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

Prof. Flávio Mendes Neto

Outubro de 2014

*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 (entregar cópia eletrônica ao final da prova). 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 na documentação da solução. Faça, em cada problema, uma escolha de bitola coerente com os dados ou resultados.*

Parte numérica: duração máxima de 2 h 30 min

### PARTE NUMÉRICA

Considere os seguintes dados:

- Coeficiente de ponderação das ações:  $\gamma_F = 1,40$ .
- Aço CA-50 ( $f_{yk} = 500$  MPa;  $\gamma_s = 1,15$ ;  $E_s = 210$  GPa).
- Concreto C35, diagrama não linear ( $f_{ck} = 35$  MPa,  $\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck}/\gamma_c$  e  $\gamma_c = 1,40$ ).
- Seção retangular com base  $b = 0,35$  m e altura total  $h = 0,70$  m.
- Armaduras com duas camadas de barras com posicionamento dado por (origem no CG de  $A_c$ ):  
 $y_{s1} = -0,30$  m;  $y_{s2} = +0,25$  m.
- Diâmetros comerciais das barras (mm): 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0 e 40,0.
- Se precisar transformar unidades de força, utilize a equivalência  $1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$ .

**3ª Questão** Os esforços adimensionais de cálculo aplicados são  $(\nu; \mu) = (0,45; 0,20)$ . Pede-se:

- Dimensione a armadura com arranjo duplamente simétrico ( $\omega_1 = \omega_2$ ).
- Dimensione a armadura sem pré-fixar a relação entre as áreas das camadas e ainda considerando:
  - Otimização da área total de armadura (considerada contínua).
  - Metodologia “tradicional” de dimensionamento (Zonas de Solicitação).
- Verifique o equilíbrio da seção quando as taxas de armadura forem  $\omega_2 = 0,11$  e  $\omega_1 = 0,09$ .

**4ª Questão** Considerando uma taxa de armadura  $\omega = 0,20$  ( $p_1 = p_2 = 1/2$ ), pede-se o maior valor de força normal (e respectivo momento fletor) que a seção resiste.

|         |     |     |
|---------|-----|-----|
| Questão | 3   | 4   |
| Valor   | 4,0 | 1,0 |

### Alguns adimensionais

$$\nu = \frac{N_d}{\sigma_{cd} A_c} \quad \mu = \frac{M_d}{\sigma_{cd} A_c h} \quad \omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c \sigma_{cd}} \quad \omega_i = \frac{A_{si} f_{yd}}{A_c \sigma_{cd}} \quad p_i = \frac{A_{si}}{A_s} = \frac{\omega_i}{\omega} \quad \alpha_i = \frac{\sigma_{si}}{f_{yd}}$$

## Alguns resultados e comentários

### 3ª Questão

a) Questão de dimensionamento clássico no ELU, podendo ser resolvida com ferramental de FNC ( $\beta_x = 0,5559$ ) ou de nFNC ( $\varepsilon_o = 0,3519$  e  $k = 8,9945 \text{ m}^{-1}$ ) fornecendo uma área total de  $24,095 \text{ cm}^2$ . Uma possível escolha de bitolas poderia ser de  $6\phi 16$  em cada camada.

b.1) Questão de dimensionamento no ELU com otimização que, também, poderia ser resolvida com ferramental de FNC ( $\beta_x = 0,5833$ ) ou de nFNC ( $\varepsilon_o = 0,4997$  e  $k = 8,5674 \text{ m}^{-1}$ ) fornecendo uma área total de  $23,673 \text{ cm}^2$  com 44,4% na camada superior ( $10,511 \text{ cm}^2$ ) e 55,6% na camada inferior ( $13,162 \text{ cm}^2$ ). Uma possível escolha de bitolas poderia ser de  $7\phi 16$  na camada inferior e  $6\phi 16$  na superior (eram esperados comentários sobre adequação e economia de eventuais escolhas).

b.2) O dimensionamento clássico pressupõe a pesquisa de Zona que, neste caso é Zona C (ambas as camadas necessárias com a superior comprimida e a inferior tracionada). O procedimento padrão seria arbitrar a linha neutra na fronteira entre os Domínios 3 e 4,  $\beta_x = \beta_{x,\text{lim}} = 0,5834$  fornecendo armaduras praticamente idênticas às do item anterior:  $10,502 \text{ cm}^2$  na camada superior e  $13,173 \text{ cm}^2$  na camada inferior (que leva à mesma escolha de barras), totalizando  $23,6755 \text{ cm}^2$ .

c) Questão clássica de verificação sem a obrigatoriedade do ELU ser satisfeito e deveria ser realizada por verificações com Newton-Raphson ou com algum método de otimização (Solver?). O equilíbrio é encontrado ( $\varepsilon_o = -0,4878$  e  $k = 23,5601 \text{ m}^{-1}$ ) além do ELU, evidenciando que a seção não suportaria tais esforços.

### 4ª Questão

A questão pode ser resolvida com bastante simplicidade com ferramental de FNC ( $\beta_x \rightarrow \infty$ ) ou de nFNC ( $\varepsilon_o = 2$  e  $k = 0$ ), sem iterações, fornecendo  $N_k = 4,4372 \text{ MN}$  e  $M_k = -0,01796 \text{ MN}\cdot\text{m}$ . Seria muito surpreendente se a resolução fosse formulada como um problema de otimização, eventualmente introduzindo problemas de precisão ou, mais ainda, se toda uma curva de interação fosse construída para que o ponto com abscissa máxima fosse “extraído”. Naturalmente a resposta tem que ser dada em termos dos esforços característicos e nunca dos de cálculo. Além disso seria interessante ver comentários sobre o valor e sinal do momento fletor correspondente.