Exame final de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Dezembro de 2014

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

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

Durações máximas: parte teórica 2 h; parte numérica 3 h

O aluno só receberá as questões práticas depois que entregar a resolução desta parte teórica.

PARTE TEÓRICA

1ª Questão Esquematize, no plano $N \times M$ (força normal na abscissa e momento fletor na ordenada), a curva crítica de projeto no ELUi considerando um pilar típico cujo comprimento varie de zero até infinito.

2ª Questão Explique como poderia ser feita a verificação da estabilidade de um pilar isostático submetido a FNC utilizando o *Solver* com:

a) Coluna modelo (Pilar Padrão)

b) Diferenças Finitas

Observações: é fundamental citar a função objetivo, as restrições e as variáveis utilizadas. Não considere a utilização de programação com VBA. Admita, por fim, que todos os cálculos deverão ser feitos na própria planilha, em uma ou mais abas (não há "fontes" de dados externas).

3ª Questão A FOC tradicional, em geral, é aplicada com a utilização de curvas de interação (curvas de nível de N_d no plano $M_{dx} \times M_{dy}$).

a) Descreva como obter uma destas curvas numericamente.

b) Descreva como equacionar numericamente o problema de dimensionamento clássico e quais seriam as dificuldades para sua implantação e funcionamento.

Questão	1	2	3	Práticas
Valor	1,0	2,0	2,0	5,0

$/F_M N/$SWP3.5

Alguns comentários

$\boxed{1^{\underline{a}}\text{ Questão}}$ A curva crítica caracteriza-se pelos pares extremos de solicitação (N, M). Para o comprimento nulo $\ell \to 0$ esta curva é a própria curva de interação, no ELU, da seção transversal considerada. Para comprimentos crescentes, no limite com $\ell \to \infty$, a curva acaba se degenerando em um único ponto $(0, M_{FNS})$, onde M_{FNS} é o máximo momento fletor resistido pela seção considerada em Flexão Normal Simples, sem a aplicação conjunta de força normal. Para um valor intermediário de comprimento teríamos a curva típica de projeto, completamente contida na curva do ELU. Há, ainda, um detalhe de uma certa intersecção da curva de projeto com o ELU dependendo da carga crítica, em compressão centrada, do pilar considerado: se a carga crítica, em compressão centrada, resultar em um encurtamento superior a $2^o/_{oo}$ a curva de projeto será limitada, inferiormente, pela curva do ELU.

$\boxed{2^{\underline{a}}\text{ Questão}}$

a) Problema de equacionamento trivial bastando, para isso, incluir os momentos de segunda ordem nas equações de equilíbrio.

b) Uma abordagem, sem VBA, seria a de formular, simultaneamente, todos os equilíbrios das seções discretizadas de uma vez, colocando como função objetivo o equacionamento de todas as resistências internas e externas de uma só vez, além de forçar a flecha máxima arbitrada a ser igual à flecha calculada no todo do pilar.

$\boxed{3^{\underline{a}}\text{ Questão}}$

a) Problema discutido em sala de aula, havendo a apresentação de detalhes na apostila.

b) Idem.

Exame final de EDI-38 Concreto Estrutural I
Prof. Flávio Mendes Neto
Dezembro 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. A interpretação das questões faz parte da prova. Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos.

Parte numérica: duração máxima de 3 h

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).
- Diâmetros comerciais a serem considerados (mm): 10; 12,5; 16; 20; 22; 25; 32 e 40.
- Concreto C40, diagrama parabólico-retangular ($f_{ck} = 40$ MPa e lembrar que $\gamma_c = 1,40$).

$\boxed{4^{\underline{a}}\text{ Questão}}$ Considere uma seção esboçada pelas coordenadas do concreto

i	x_i (cm)	y_i (cm)
1	87	150
2	87	133
3	159	9
4	15	9
5	87	133
6	87	150
7	0	0
8	174	0
9	87	150

e das barras de armadura

i	x_{si} (cm)	y_{si} (cm)
1	10	5
2	165	5
3	87	140
4	87	5
5	49	75
6	126	75

.

Pede-se:

a) Com a linha neutra "clássica" definida por $\varphi = 52^o$ e $x = 45$ cm, calcule os esforços resistentes com o diagrama RS e metodologia "tradicional" considerando que todas as barras sejam $\phi 16$.

b) Dimensione a bitola (constante) das barras quando a seção estiver submetida aos esforços, consistentes com a regra da "mão-direita", $N_k = 1,823$ MN; $M_{xk} = -0,6429$ MN·m e $M_{yk} = 0,7429$ MN·m;

$\boxed{5^{\underline{a}}\text{ Questão}}$ Considere um pilar engastado-livre com comprimento total de 3 m e seção transversal quadrada de lado 30 cm armada de forma duplamente simétrica com $4\phi 16$ (considere um cobrimento das barras de 2 cm).

a) Qual a maior força normal pode ser aplicada a este pilar considerando apenas a compressão centrada?

b) Analise a estabilidade em FNC deste pilar quando submetido somente às seguintes cargas características concentradas em sua extremidade: $N_k = 0,94$ MN e $M_k = 0,023$ MN·m. Caso haja equilíbrio, qual a flecha máxima do pilar?

Questão	Teóricas	4	5
Valor	5,0	2,5	2,5

$/F_M N/$SWP3.5

Alguns resultados numéricos e comentários

$\boxed{4^{\underline{a}}\ \text{Questão}}$

a) As coordenadas da seção e das barras deveriam ser transladadas para o CG da seção bruta de concreto, antes de mais nada. Cuidado ainda deveria ser tomado com a consideração da tensão de cálculo do concreto que deveria ser dada por $\sigma_{cd} = 0,80\, f_{cd} = 22,8571$ MN/m^2. A altura da seção, girada, é de $h_\varphi = 160,9062$ cm, resultando em $\beta_x = 0,2797$ (a ordenada do corte, no sistema girado, é de 26,0063 cm). Os esforços resistentes de cálculo são (diagrama RS)

	Concreto	Armadura	Total
N_d (MN)	3,9583	-0,03353	3,9248
M_{dx} (MN·m)	-1,3462	-0,1770	-1,5232
M_{dy} (MN·m)	1,1328	0,1329	1,2656

A resposta final seria dada pelo terno resistente característico: $N_k = 2,8274$ MN, $M_{kx} = -0,9616$ MN·m e $M_{ky} = 0,8091$ MN·m. Com a notação da FOC estes momentos poderiam ser representados pelas excentricidades $e_x = -38,8095$ cm e $e_y = 32,2467$ cm (formando um ângulo de 140,2769^o no sentido trigonométrico).

Observação: uma tentativa válida de resolução, sem utilizar o diagrama RS, seria com a metodologia da nFOC. O problema passaria a ser a determinação da distribuição de deformações, que deveria estar no ELU, para a mesma "linha neutra" do problema proposto. Não é difícil calcular o terno que caracteriza a ditribuição de deformações $(\varepsilon_o; k_x; k_y) = (-1,3324; -0,04788; -0,06128)$ fornecendo os esforços resistentes (diagrama PR, com $\sigma_{cd} = 0,85\, f_{cd}$) característicos: $N_k = 2,9725$ MN, $M_{kx} = -0,9584$ MN·m e $M_{ky} = -1,1313$ MN·m. Note que foi utilizada convenção de momentos consistente aqui.

b) É absolutamente imprescindível ponderar os esforços, levando a $N_d = 2,5522$ MN, $M_{dx} = -0,9001$ MN·m e $M_{dy} = 1,0401$ MN·m. O dimensionamento pode ser feito com a metodologia da nFOC levando a uma área de armadura total $A_s = 8,7236$ cm^2. Pode-se escolher a barra $\phi 16$ levando a uma distribuição de deformações $(\varepsilon_o; k_x; k_y) = (-0,7665; -0,01996; 0,02912)$.

$\boxed{5^{\underline{a}}\ \text{Questão}}$

a) Naturalmente não se esperava que um erro frequente fosse cometido com a confusão de cobrimento (c) e o CG da barra/camada (d') quando, na verdade, sabe-se que não são iguais: $d' = c + \phi/2$ (onde ϕ é o diâmetro da barra considerada). Esta diferença poderia influenciar sensivelmente o resultado ($\delta = 7/75 \simeq 0,09\overline{3}$).

É fácil calcular a carga máxima da seção transversal no ELU, levando a $\nu_{ELU} = 1,1545$, e, com isso, obtem-se um limitante superior para a resposta procurada.

Outra questão é o cálculo da carga crítica por diferenças finitas e aproximações sucessivas, com a utilização de imperfeições decrescentes, pois sabe-se que pilares de concreto são sensíveis a imperfeições e pode-se ficar moderadamente contra a economia, ainda que a favor da segurança (sem considerar erros de cálculo, naturalmente). A título de exemplo, com uma imperfeição $e/h = 10^{-3}$, poderia ser obtida uma carga crítica, adimensional, $\nu_{cr} = 0,9759$ (com $m = 10$ divisões do pilar) ou $\nu_{cr} = 0,9765$ (com $m = 100$).

A solução poderia ser obtida com metodologia discutida na apostila ($\ell_{e,\lim}/h = 10,4518$; $\varepsilon_c = 1,3394$) ou com a nFNC, introduzindo a rigidez à flexão da seção ($\widehat{EI} = 7,9280$ MN·m^2) na equação de equilíbrio de forças e da carga crítica, fornecendo $\nu_{cr} = 0,9944$ que corresponde a $N_{k,cr} = 1,5525$ MN (claro que é impensável responder com um valor de cálculo e não com o característico).

b) Os esforços deveriam ser ponderados ($\nu = 0,6021$ e $\mu = 0,0491$) e poderia ser utilizada a metodologia da Coluna Modelo levando a uma flecha máxima $f = 1,2390$ cm (na seção crítica, da base, teríamos $\theta = 1,019$) ou o processo das diferenças finitas $f = 1,7484$ cm ($hk = 1,2616$), para $m = 100$ divisões do pilar. A conclusão era a mesma: pilar tem equilíbrio (que, de fato, é estável pois este problema não apresenta o instável).