1ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II
Parte teórica
Prof. Flávio Mendes Neto
Abril de 2015

Consulta permitida ao formulário básico, sem anotações suplementares. A interpretação das questões faz parte da prova. Justifique cientificamente suas afirmações. Esta prova tem 1 folha e 4 questões.
(duração máxima: 2 h 0 min)

1ª Questão Considerando a Região Viável para uma seção crítica de uma peça de concreto protendido com apenas 2 fases de carregamento (inicial e final) e, ainda, SEM considerar as restrições geométricas de posicionamento da armadura de protensão, pede-se:

a) Existem condições matemáticas para que sempre se garanta a existência de uma solução (F_i, e)?

b) É correto afirmar que, ainda sem considerar as restrições geométricas, a força determinada para a seção crítica tem condições de atender a todas as demais seções transversais?

2ª Questão Faça um esboço detalhado de todas as armaduras comuns de uma laje maciça de concreto armado.

3ª Questão Explique a necessidade e a justificativa para os valores mínimo e máximo da área de armadura de flexão das peças de concreto armado.

4ª Questão Por que em vigas contínuas uma trajetória proporcional a um diagrama de momentos fletores devido a qualquer carregamento é concordante?

Questão	1a	1b	2	3	4
Valor	1,0	1,0	1,0	0,5	1,5

/F$_{\mathrm{M}}$N/SWP3.5

Alguns comentários

$\boxed{1^{\underline{a}} \text{ Questão}}$ a) Este item gerou duas interpretações distintas mas o fato é que sim, podem ser impostas condições matemáticas para a existência da Região Viável (RV), que é regulada pela intersecção das 4 inequações mais restritivas. Aprofundamentos desta discussão eram esperados. Alguns comentaram no sentido de que são muitos os parâmetros e não se pode garantir que a RV sempre exista, o que está correto mas, além de reafirmar o óbvio, não ataca propriamente a questão.

b) O encaminhamento deste item depende, naturalmente, de como o anterior foi atacado, gerando as mesmas possibilidades de interpretação. O fato, entretanto, é que a existência de uma RV para uma seção transversal (mesmo que "crítica"), não traz a garantia de que a força escolhida permaneça viável para as demais seções, que têm outros momentos fletores (variação esta que, por si só, pode inviabilizar as inequações de tensão).

$\boxed{2^{\underline{a}} \text{ Questão}}$ O esboço pedido, naturalmente, não se referia a uma "obra de arte" no sentido gráfico, sem maiores explicações e sem o devido detalhamento. As armaduras (positivas e negativas), com suas geometrias e posicionamento, eram esperadas. Comentários sobre o congestionamento das armaduras (dupla ou de cisalhamento, sem contar os "cantos") foram bem-vindos.

$\boxed{3^{\underline{a}} \text{ Questão}}$ Questão amplamente apresentada e discutida em sala de aula.

$\boxed{4^{\underline{a}} \text{ Questão}}$ Questão amplamente apresentada e discutida em sala de aula.

1ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II
Prof. Flávio Mendes Neto
Abril de 2015

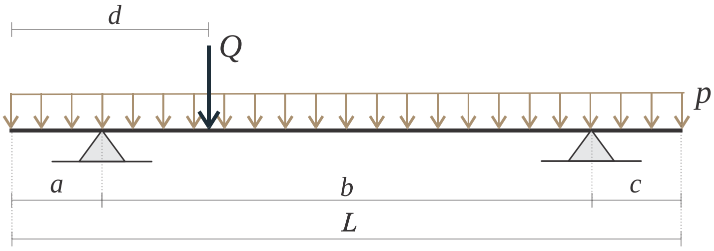
Consulta livre (menos a seres humanos, próximos ou distantes), utilização de softwares gerais liberada, incluindo o EdPol. Utilização de programas e planilhas previamente confeccionados pelo próprio aluno liberada (entregar cópia eletrônica ao final da prova, inclusive dos arquivos de dados e resultados). A interpretação das questões faz parte da prova. Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos.

Parte numérica: duração máxima de 2 h

5ª Questão Considere uma viga com seção transversal constante de concreto. Utilize os seguintes dados:

- Seção "A", conforme figura.
- Viga isostática biapoiada, conforme figura ($a = 400$ cm, $b = 800$ cm e $c = 800$ cm).
- Peso específico do concreto: $\gamma_{\text{con}} = 2,5 \times 10^{-8}$ MN/cm^3.
- Distância mínima do CG da armadura à borda mais próxima: $d'_{p,\min} = 9$ cm.
- O eventual transporte da peça sempre será feito suportando as duas extremidades simultaneamente.
- Carga de utilização $Q = 0,2$ MN aplicada na abscissa $d = 800$ cm (ver figura).
- Fases de carregamento (considere, **também**, o peso próprio $g = A_c \cdot \gamma_{\text{con}}$):

Fase	Limites de tensão (MN/cm^2)		Perdas de protensão (%)	Carregamento q de utilização (MN/cm)
	Mínimo	Máximo		
(i) Inicial ($p = g$, sem Q)	$-1,20 \times 10^{-4}$	$4,78 \times 10^{-4}$	0	0
(f) Final ($p = g + q$, com Q)	$-1,80 \times 10^{-4}$	$7,24 \times 10^{-4}$	12	$6,5 \times 10^{-5}$

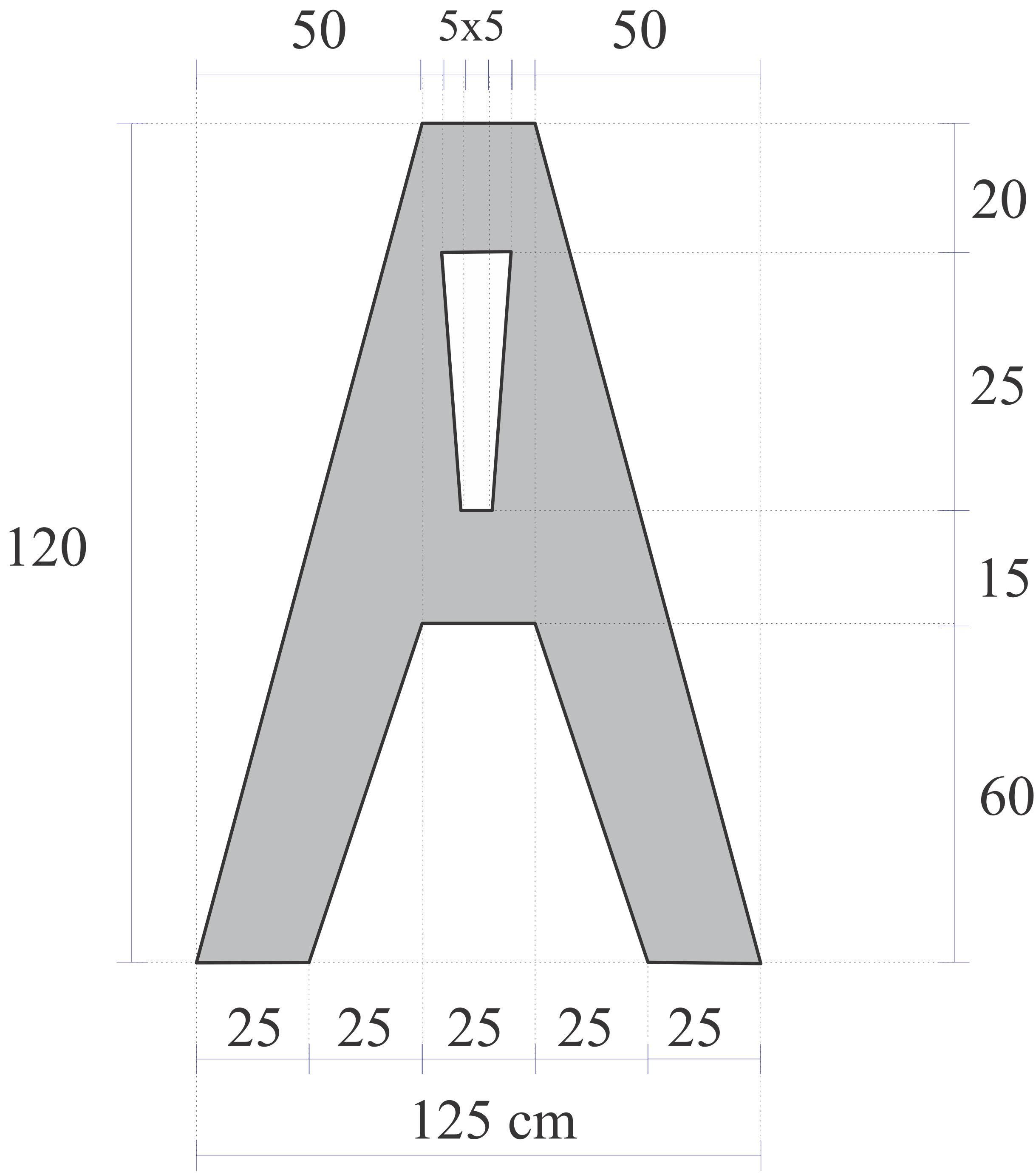


Pede-se:

a) Considerando a seção crítica que estiver submetida ao máximo módulo de momento fletor, calcule a mínima força de protensão inicial F_i (e respectiva excentricidade e). Faça um esboço da distribuição da armadura na seção transversal.

b) Determine, para a força do item (a), uma trajetória viável $e(x)$ para esta armadura de protensão.

c) Considerando a força determinada no item (a), qual a máxima perda total da força de protensão na fase final que seria viável?


50
5x5
50
20
25
15
60
120
25
25
25
25
25
125 cm

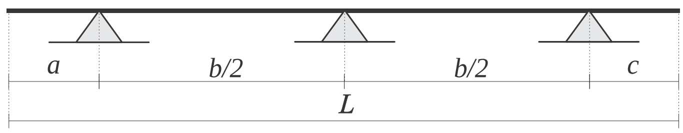
$\boxed{6^{\underline{a}}\text{ Questão}}$ Uma viga contínua, com três apoios conforme figura ($a = 4$ m, $b = 8$ m e $c = 8$ m), está submetida somente a uma força de protensão constante $F = 1$ MN com a trajetória dada por

$$e\left(x\right) = 0,672 - 0,20065 \cdot cosh\left(\frac{x/L - 0,5}{0,20065}\right)$$

para $0 \leq x \leq L$ onde

$$cosh\left(x\right) = \frac{e^{x} + e^{-x}}{2}$$

e tanto x quanto $e\left(x\right)$ estão em metros (m). Calcule o momento hiperestático $M_h\left(x\right)$ desta trajetória?



Questão	5a	5b	5c	6
Valor	1,5	1,0	1,0	1,5

/$\mathrm{F_M}$N/SWP3.5

Alguns resultados numéricos e comentários

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

a) Nas próximas páginas estão esquematizados alguns resultados numéricos das características geométricas da seção transversal e da análise do momento fletor da viga nas fases inicial e final. Observa-se que a (única) seção crítica a ser considerada, conforme enunciado, é a do segundo apoio, com abscissa de 12 m por ter o maior módulo de momento fletor na fase final ($M_i = -46,0$ MN cm e $M_f = -66,8$ MN cm).

A seguir um esboço da Região Viável no Diagrama de Magnel indicando que a mínima força de protensão é de $F_i = 0,7974$ MN com uma excentricidade $e = -54,89$ cm, obtida com a intersecção da inequação (c') e a restrição geométrica.

b) Utilizando a força do item anterior e reescrevendo as inequações de tensão para as outras seções transversais obtem-se a Região Limite, esboçada na página em sequência, onde deve ser alojada uma trajetória $e\,(x)$. Note que esta região em si **não é** a resposta da questão, que pedia uma trajetória específica e considerações sobre a trajetória fornecida ser viável e para qual tipo de concreto protendido (com armadura pré ou pós-tracionada). Salienta-se, por fim, que "desenhos" de trajetórias, sem escala e completamente descontextualizados, também não se configuram como respostas aceitáveis.

c) Dado que a força do item (a) foi obtida com uma inequação da fase final ativa e, ainda, que o aumento da perda da força de protensão faz com que a referida inequação fique ainda mais restritiva (causando a diminuição da Região Viável existente), não se pode, neste caso, aumentar a perda da força de protensão. Note que esta mesma conclusão, obtida "numericamente", demonstra uma insegurança no domínio teórico do problema.

$\boxed{6^{\underline{a}} \text{ Questão}}$ Considerando o Teorema da Carga Unitária e trabalhando com a reação vertical do apoio interno ($x = a + b/2 = 8$ m), positiva de cima para baixo, obtem-se a seguinte equação para o momento fletor hiperestático

$$M_h(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 4 \text{ ou } x \geq 12 \\ R\dfrac{x-4}{2} & 4 \leq x \leq 8 \\ R\dfrac{12-x}{2} & 8 \leq x \leq 12 \end{cases} .$$

O momento primário é dado, simplesmente, por

$$M_p(x) = -F \cdot e(x)$$

e o da carga unitária pode ser obtido com

$$m(x) = M_h(x)|_{R=1} .$$

Pode-se estabelecer o deslocamento nulo no referido apoio com

$$\int_0^{20} M_p(x) \cdot m(x)\, dx + \int_0^{20} M_h(x) \cdot m(x)\, dx = 0$$

fornecendo

$$-3,4125 + 10,667\, R = 0$$

e, consequentemente, $R = 0,31991$ MN. O gráfico a seguir ilustra o diagrama de momentos fletores hiperestáticos salientando-se que o seu valor extremo é de $0,6398$ MN cm.