

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM EDÍFÍCIO DE CONCRETO ARMADO

ESTUDO DE CASO

1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO DE PROJETO

Objetiva-se realizar o anteprojeto estrutural de um edifício de uso residencial (**Figura 1**), em concreto armado, com altura de aproximadamente 30 m e um total de nove níveis, compreendendo o térreo, oito pavimentos tipo (**Figura 2**), cobertura, casa de máquinas de elevador e caixas d'água. A etapa de anteprojeto, dentro do contexto de um projeto estrutural de um edifício de concreto armado, consiste na definição das plantas de forma da estrutura, com todas as dimensões e posições dos elementos estruturais de concreto armado.

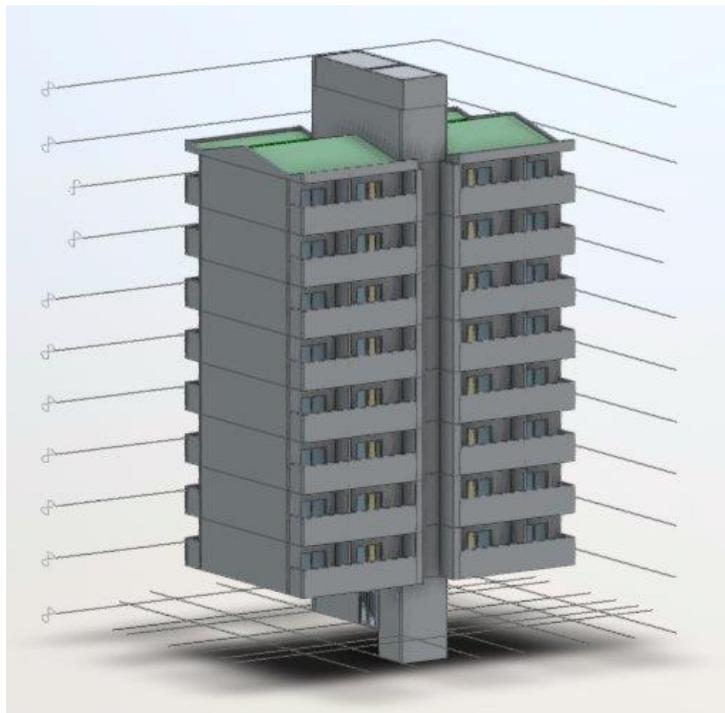


Figura 1 - Vista tridimensional do modelo arquitetônico (sem pilares)

Neste projeto, o modelo estrutural utilizado deve ser global, isto é, é um modelo reticulado tridimensional de toda a estrutura, compreendendo pilares e vigas, mas não considerando lajes e paredes das caixas d'água como elementos estruturais.

Os arquivos arquitetônicos necessários para o desenvolvimento do anteprojeto estrutural, nomeadamente, o arquivo do projeto completo no Revit (MPE.rvt), as plantas baixas, cortes (longitudinal e transversal), fachadas, plantas de cobertura e de situação se encontram disponíveis na página da disciplina no Moodle/CCEAD em .RVT, DWG e

.PDF (procure pela seção "Arquivos para criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas") ou no grupo de trabalho "**ENG1204-22.1**" no Microsoft Teams (procure por General/Files/PlantasArquitetura), cujo link é:

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3ac2Tb8hP85Py-iFGCzaeTTV8j4iJfm4YmkOEP1J2b7001%40thread.tacv2/conversations?groupId=2e6e30e9-1d43-4da1-adaa-5c369d1f2671&tenantId=5894b841-8b59-454b-8a26-648e79cf1997>

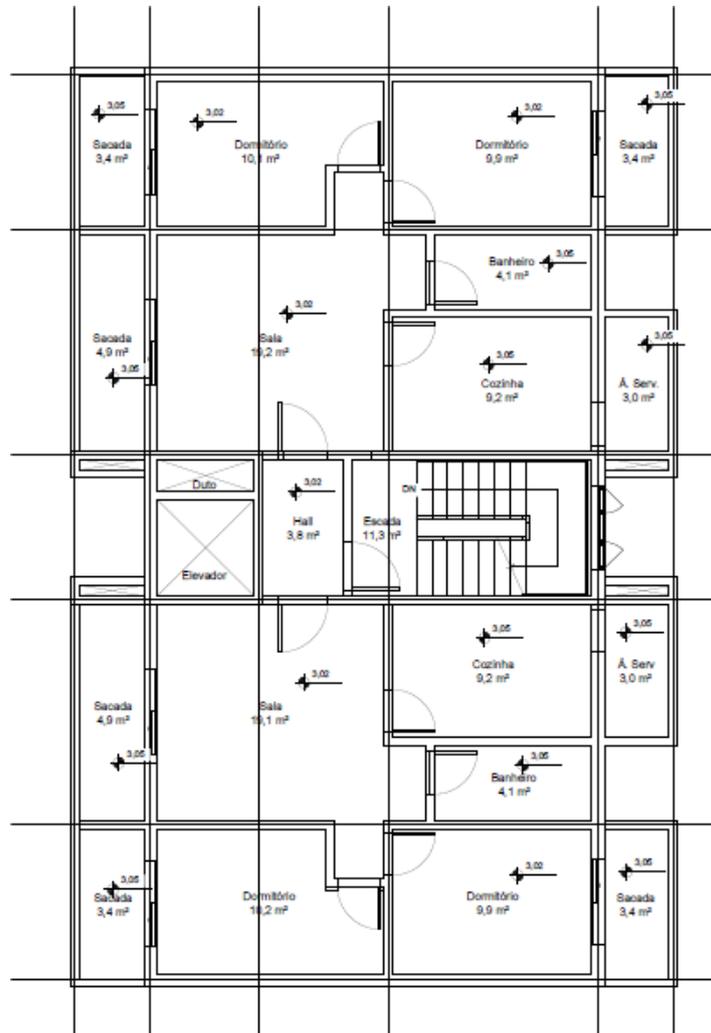


Figura 2 – Planta arquitetônica do pavimento tipo

Quanto à implementação computacional do projeto, os modelos estruturais e analíticos serão desenvolvidos com o auxílio dos programas Autodesk Revit e Robot, respectivamente. Os elementos estruturais a serem utilizados para compor a superestrutura do edifício serão divididos em três categorias: **lajes maciças** (estrutura terciária), **vigas** (estrutura secundária) e **pilares** (estrutura primária). As lajes e as paredes das caixas d'água não serão consideradas como estruturantes no modelo analítico (entrarão apenas como cargas e para transferência de cargas).

O documento LinksTutoriaisAutodesk-Revit-Robot.pdf na homepage da disciplina ENG 1204 de 2022.1 (procure pela seção "Arquivos para criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas") fornece links para tutoriais e cursos

oficiais da Autodesk sobre o uso do Revit e Robot. No grupo de trabalho “**ENG1204-22.1**” no Microsoft Teams existem vídeos tutoriais adicionais (procure por General/Files/Oficinas). Nesse grupo de trabalho também estão disponíveis materiais de aula e normas técnicas.

ESCOPO

Lançamento estrutural

A tarefa inicial é o lançamento da estrutura, isto é, a definição dos pilares e a definição das vigas do pavimento tipo. A definição dos pilares e das vigas com base no pavimento tipo será utilizada em todos os níveis, incluído o andar térreo e a cobertura. O projeto arquitetônico não considera pavimentos para mezanino do andar térreo ou para salão de festas.

Lajes e paredes das caixas d'água

Neste projeto, as lajes e as paredes das caixas d'água não serão consideradas como estruturantes no modelo analítico (entrarão apenas como cargas e para transferência de cargas).

Andar térreo

No projeto arquitetônico, o andar térreo é um nível de estacionamento. Entretanto, não serão considerados afastamentos dos pilares em função de vagas de estacionamento. Também não serão consideradas imposições arquitetônicas para acesso à portaria. Portanto, o posicionamento dos pilares será ditado apenas pelo *layout* do pavimento tipo.

Fundação

A fundação do edifício é em blocos de estacas. O projeto não considera o pré-dimensionamento das estacas e dos blocos. No modelo estrutural (analítico), os pilares serão considerados engastados nos blocos de estacas. Isto é, a fundação será considerada apenas como engastes nos nós inferiores dos pilares, que terão a cota do topo dos blocos de estaca (0,5 m de profundidade em relação ao nível do térreo). Não estão projetadas vigas de cintamento dos pilares na fundação (vigas que situadas abaixo do nível do solo fazem uma amarração dos pilares). Portanto, o comprimento dos pilares no andar térreo vai do topo dos blocos de estacas até o primeiro pavimento.

Cobertura

O telhado na cobertura não será considerado no projeto de pré-dimensionamento. O telhado será considerado apenas como carga ou na transferência de cargas provocadas por vento. O vigaamento da cobertura seguirá o do pavimento tipo, apenas com seções diferentes pois as solicitações são diferentes.

2 ATRIBUIÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO ESTRUTURAL

Levando-se em conta as boas práticas de projeto, recomenda-se que este seja elaborado com base nas etapas sequenciais apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Etapas sequenciais do projeto estrutural

Etapa	Descrição
1	Concepção estrutural
2	Pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares / Estimativa de cargas
3	Modelagem estrutural no software Revit
4	Definição do modelo analítico no software Robot
5	Levantamento de cargas (NBR 6120) / Combinações de carregamento (NBR 8681)
6	Avaliação dos esforços estruturais no Robot
7	Entrega final do anteprojeto de formas
8	Dimensionamento dos elementos estruturais e detalhamento. Esta etapa não será realizada no projeto da disciplina ENG1204 – Análise de Estruturas II.

As atribuições de cada etapa estão descritas abaixo juntamente com as observações pertinentes:

1. **ETAPA 1 – Concepção estrutural**

- Posição dos pilares
- Posição de vigas e pórticos
- Posição das lajes
- Simbologia da planta de formas

Observações:

O arranjo estrutural (lançamento dos pilares, vigas e lajes) deverá ser feito de maneira que se obtenha o melhor ajuste ao projeto de arquitetônico, considerando, simultaneamente, aspectos econômicos, facilidade construtiva e o comportamento global da edificação. Para tanto, o lançamento estrutural deve seguir diretrizes básicas provenientes da prática de projeto, por exemplo, através de critérios que determinam a distância entre os eixos dos pilares (vãos das vigas principais) e os vãos das lajes. Geralmente, quando há pavimento tipo, é usual começar o lançamento por ele.

Outro critério importante é que os elementos estruturais não devem ser dispostos aleatoriamente, mas sim, – sempre que possível – posicionados de maneira que sejam formados pórticos com a união de vigas e pilares nas duas direções. Este procedimento confere rigidez global ao edifício de modo que possa melhor resistir às ações verticais e horizontais (vento).

Antes de iniciar o lançamento estrutural, os grupos de trabalho devem seguir as orientações dos vídeos pré-gravados que estão disponíveis no grupo de trabalho “**ENG1204-22.1**” no Microsoft Teams (procure por General/Files/Oficinas).

2. ETAPA 2 – Pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares / Estimativa de cargas

- Definição das seções transversais dos pilares, das vigas (largura e altura) e altura das lajes

Observações:

Após o esboço inicial do lançamento estrutural, devem-se definir as dimensões dos elementos estruturais. Esta etapa não é desconectada da primeira porque algumas premissas podem modificar o arranjo estrutural inicial. Esta abordagem é explicada nos vídeos "Oficina 1 - Pré Dimensionamento Pilares.mp4", "Oficina 2 - Pré Dimensionamento Vigas.mp4" e "Oficina 3 - Pré Dimensionamento de Lajes e Levantamento de Cargas.mp4".

3. ETAPA 3 – Modelagem estrutural no software Revit

- Lançamento da planta de formas do pavimento tipo
- Verificação de interferências com a arquitetura do térreo
- Lançamento da cobertura
- Definição do sistema estrutural global do edifício

4. ETAPA 4 – Definição do modelo analítico no software Robot

- Exportação da superestrutura definida no Revit para o programa Robot.
- Compatibilização das posições reais dos elementos estruturais em relação aos centroides das seções das vigas e colunas (*offset* transversal).
- A fundação do edifício é em blocos de estacas. No modelo estrutural (analítico), os pilares serão considerados engastados nos blocos de estacas. Isto é, a fundação será considerada apenas como engastes nos nós inferiores dos pilares, que terão a cota do topo dos blocos de estaca (0,5 m de profundidade em relação ao nível do térreo). Portanto, no modelo analítico, os nós de fundação têm apoios do 3º gênero (engaste: restrição a todas as componentes de deslocamentos e rotações). O comprimento dos pilares no andar térreo vai do topo dos blocos de pilares até o primeiro pavimento. Como os eixos dos pilares, em função do *offset* transversal, estão deslocados em relação aos eixos da estrutura, será necessário criar nós adicionais para os apoios do 3º gênero. Isso será explicado em aula.

Observações:

No modelo analítico, os nós do modelo estão posicionados nos eixos da estrutura. Portanto, não serão considerados *Offsets* axiais das vigas e pilares. Isto é, os vãos das vigas são de eixo a eixo e os comprimentos dos pilares entre pavimentos são de topo de laje a topo de laje. Em outras palavras, vai ser considerada a interposição das vigas nos pilares e dos pilares nas lajes.

Uma vez concluído o modelo analítico no Robot, é recomendado que se proceda à verificação da consistência estrutural conferindo a conectividade de todos os elementos estruturais antes de proceder ao levantamento de cargas. Uma forma de

verificação pode ser feita através do cálculo de uma análise do modelo sem carregamento com a finalidade que o programa possa acusar possíveis defeitos de modelamento.

5. ETAPA 5 – Levantamento de cargas (NBR 6120) / Combinações de carregamento (NBR 8681)

- Cálculo e aplicação das cargas permanentes.
- Determinação das sobrecargas de serviço e definição de no mínimo 2 casos de distribuição das cargas de serviço que sejam consideradas como mais desfavoráveis. O primeiro caso será determinado considerando que toda a área útil da edificação está em serviço.
- Determinação das cargas de vento e definição de no mínimo quatro possíveis casos de aplicação da carga de vento.
- Determinação das combinações dos casos de carga para obtenção das envoltórias de esforços.

Observações:

No presente projeto as lajes não serão consideradas como parte do sistema estrutural, sendo necessária a determinação da carga permanente devido às lajes seguindo as diretrizes da norma **NBR 6120**. A definição dos casos de aplicação de cargas de serviço e cargas de vento deve ser feita sob a consideração de obter o resultado mais desfavorável para a estrutura (obtenção dos maiores valores de esforços internos). Como consulta sugere-se o documento ENG1204-212-AcoesSegurança-ClaudioResende.pdf que está disponível no grupo de trabalho "**ENG1204-22.1**" no Microsoft Teams (procure por General/Files).

6. ETAPA 6 – Avaliação dos esforços estruturais e deslocamentos no Robot

- Análise crítica dos resultados, salientando valores críticos de esforços internos e deslocamentos.
- Determinação das envoltórias de esforços internos.
- Determinação das solicitações (esforços internos) máximos para cada elemento tipo. Verificação do momento máximo recomendado nos elementos de viga para que esta não tenha falha sobre-armada (quando concreto em compressão falha antes que a armadura tracionada). O detalhe deste critério é fornecido nos documentos anexos do projeto.
- Verificação dos deslocamentos máximos em relação aos limites sugeridos tabela 13.3 da norma NBR 6118.

Observações:

Nesta etapa a apresentação de resultados deve ser feita facilitando a identificação dos esforços máximos na estrutura. Para tal, além da distribuição tridimensional dos esforços internos, sugere-se a apresentação de vistas frontais dos pórticos principais e secundários. As verificações de valores limites, tem como objetivo a realização de uma avaliação crítica dos esforços e deslocamentos obtidos assim como mostrar claramente a influência da consideração do offset longitudinal no cálculo dos esforços e deslocamentos máximos. É importante salientar que as verificações finais

são feitas uma vez concluídas as etapas de dimensionamento final e cálculo dos reforços metálicos nos elementos estruturais. Tais etapas não são parte do escopo da presente disciplina.

7. ETAPA 7 – Entrega final do anteprojeto de formas

- Verificação da posição e dimensões finais do sistema estrutural no Revit.
- Preparação do anteprojeto de formas (Plantas de forma).
- Redação do relatório final.

Observações:

A verificação da posição final dos elementos estruturais deve levar em conta a compatibilização do projeto estrutural com o projeto arquitetônico e o modelo analítico determinado no Robot. A preparação das plantas deve ser feita seguindo as referências que serão proporcionadas no decorrer do projeto. O relatório final estará composto pela apresentação final do projeto (preferentemente em arquivo '.ppt'), o qual deve incluir os elementos mais ressaltantes de cada etapa do projeto. **O relatório deverá ser entregue até as 08:30 hs do dia 20/06/2022**, dia das apresentações finais.

3 CRONOGRAMA DE MARCOS DO PROJETO

Os grupos de trabalho deverão apresentar as tarefas realizadas em cada etapa do projeto estrutural nas datas estipuladas conforme o cronograma apresentado na Tabela 2

Tabela 2 – Cronograma

Marcos do Projeto	Assunto	Apresentação
	Apresentação do projeto da disciplina e ao software utilizado.	23-Mar-22
	Ações, segurança e desempenho estrutural.	25-Mai-22
	Acompanhamento dos projetos das equipes. Pré-dimensionamento de estruturas de concreto armado.	30-Mai-22
	Acompanhamento dos projetos das equipes.	01-Jun-22
Etapa 1 Etapa 2 Etapa 3	Concepção estrutural Pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares / estimativa de cargas Modelagem estrutural no Revit.	06-Jun-22
	Acompanhamento dos projetos das equipes. Modelagem de barras com eixos deslocados.	08-Jun-22
Etapa 4 Etapa 5	Definição do modelo analítico no Robot Levantamento de cargas (NBR 6120) / combinações de carregamento (NBR 8681).	13-Jun-22
	Acompanhamento dos projetos das equipes.	15-Jun-22
Etapa 6 Etapa 7	Avaliação dos esforços estruturais no Robot: configuração deformada, diagrama de esforços internos e envoltórias. Finalização do anteprojeto das formas no Revit e apresentação dos projetos finais da criação de modelos estruturais e análise computacional de estruturas.	20-Jun-22

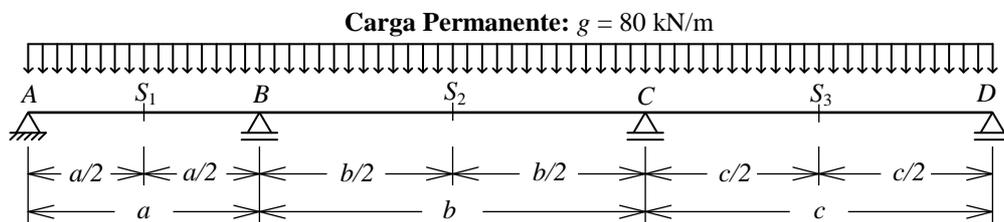
ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 1º Semestre - 2022

4ª questão do grau G3 (3.0 pontos) - Data da entrega: 04/07/2022

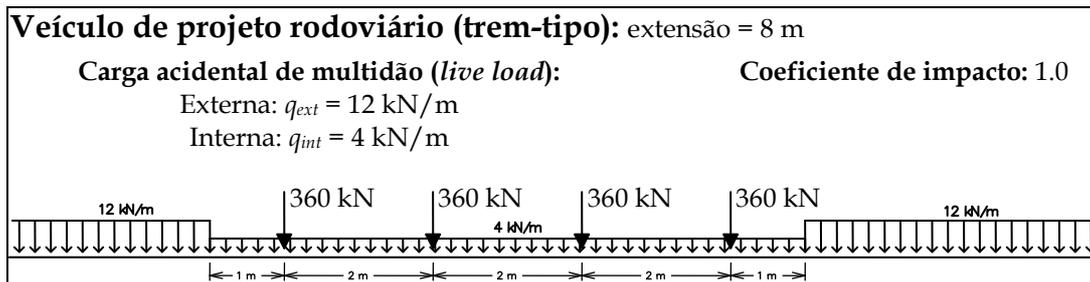
Linhas de influência e cargas acidentais e móveis

Item (a) (1,0 ponto)

Utilizando o Ftool, determine as envoltórias de mínimos e máximos de esforço cortante e momento fletor para um dos modelos estruturais de ponte mostrados abaixo (cada aluno tem um modelo de ponte). Utilize o módulo de elasticidade do concreto. A seção transversal da viga da ponte está mostrada abaixo. A ponte está solicitada por uma carga permanente uniformemente distribuída g (valor indicado) e por um carregamento móvel, que é um veículo de projeto (trem-tipo) com quatro cargas concentradas e cargas acidentais de multidão uniformemente distribuídas, q_{int} e q_{ext} , conforme indicado. Veja valores para comprimentos dos vãos da ponte (parâmetros a , b , e c) por número de matrícula na tabela na página seguinte. As envoltórias devem ser traçadas para o efeito combinado da carga permanente e do veículo de projeto. Os valores das envoltórias devem ser mostrados com um passo de visualização de 2 metros, isto é, os valores devem ser mostrados em seções dos elementos estruturais da ponte a cada 2 metros.



Parâmetros da seção transversal										
Viga (T-shape)		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">d:</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.20 m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">b:</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.00 m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">tw:</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0.40 m</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">tf:</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0.40 m</td> </tr> </table>	d:	1.20 m	b:	1.00 m	tw:	0.40 m	tf:	0.40 m
d:	1.20 m									
b:	1.00 m									
tw:	0.40 m									
tf:	0.40 m									



Item (b) (1,0 ponto)

Com base em linhas de influência, calcule os valores mínimos e máximos de esforço cortante e de momento fletor na seção central S_2 do segundo vão da viga da ponte (vão com comprimento b) provocados pelas cargas permanente e móvel e compare com os valores obtidos pelo Ftool no item (a). As linhas de influência nesta seção devem ser desenhadas e devem ser indicadas as posições do carregamento móvel que determinam os valores mínimos e máximos de esforço cortante e momento fletor para esta seção. As áreas das linhas de influência, nos seus trechos positivos e negativos, devem ser calculadas com base nas ordenadas da linha de influência usando a regra dos trapézios.

Item (c) (1,0 ponto)

Considere apenas a carga acidental externa $q_{ext} = 12 \text{ kN/m}$.

- (c.1) Desenhe, na folha anexa, os aspectos das Linhas de Influência (LI) de momentos fletores nas seções S_1 , B , S_2 , C e S_3 .
- (c.2) Com base nas Linhas de Influência traçadas, defina os carregamentos acidentais que devem atuar na viga de forma a minorar e majorar os momentos fletores nas seções indicadas. Indique na folha anexa, para cada carregamento, os vãos onde atuam a carga acidental.
- (c.3) Quantos casos de carregamentos acidentais foram identificados no item (c.2)?

Observações

Está disponível pelo link http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool400roteirotremtipo.pdf um roteiro (formato PDF) para criação de um modelo de ponte com trem-tipo, e visualização de posições críticas do trem-tipo ao longo de linhas de influência e de envoltórias de esforços internos. ESSE ROTEIRO É DE UMA PONTE COM PILARES, QUE É DIFERENTE DA PONTE SEM PILARES DESTA QUESTÃO.

Sugestão de opções de configuração no Ftool:

Unidades: kN-m

Número de casas decimais para distâncias: 0 (nenhuma casa decimal)

Número de casas decimais para forças: 1

Número de casas decimais para momentos: 1

Número de casas decimais para cargas distribuídas: 0 (nenhuma casa decimal)

Número de casas decimais para dimensões de seção transversal (em metros): 2

Tamanho do passo (*Step*) de visualização: 2 m

Opção de desenho de valores de resultados (*Display/Result Values*): ativa.

Opção de desenho de valores de resultados em passos (*Display/Step Values*): ativa.

Opção de desenho transversal de valores de resultados (*Display/Transversal Values*): ativa.

Opção de desenho de sinais de momentos fletores (*Display/Bending Moment Signs*): ativa.

Matrícula		Dimensões dos vãos [m]		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1	1711629	26	40	34
2	1720329	28	40	32
3	1812132	30	36	34
4	1820449	34	32	34
5	1820493	34	36	30
6	1820664	36	36	28
7	1820705	34	40	26
8	1820809	40	24	36
9	1911308	38	28	34
10	1912968	36	32	32
11	2111170	34	32	34

Solução do item (c)

