

Influência dos hiperestáticos de protensão nos pilares da estrutura

Alberto Campos Rodrigues – betocr@esteng.com.br

Fábio Albino de Souza

Estruturas Protendidas

Faculdade IDD

Curitiba, PR, 10 de Dezembro de 2017.

Resumo

O presente artigo analisa resultados nas cargas dos pilares da estrutura de concreto armado comparado com a mesma concepção estrutural em concreto protendido de um edifício de 10 pavimentos com lajes lisas. Projetos estruturais protendidos em edificações residenciais e comerciais aumentaram nos últimos anos seja através do número crescente de projetistas na área de protensão, seja pelo aumento de empresas executoras de protensão ou mesmo pela facilidade da execução com o uso de coardalha engraxada e plastificada. Os resultados de carregamentos originados pelos cabos de protensão, são considerados no projeto de concreto armado durante o processamento do pórtico espacial ou pórtico plano para a obtenção dos esforços e dimensionamento dos pilares, lajes e vigas. O objetivo do trabalho compara resultados de cargas nos pilares entre as duas situações distintas, uma resulta de cargas nos pilares no projeto estrutural sem protensão considerando somente concreto armado e a outra no mesmo projeto estrutural mas com as lajes protendidas. O método aplicado consiste de modelagem numérica com o uso do software comercial CAD/TQS versão 16.8.

Palavras-chave: Hiperestático. Concreto protendido. Projeto estrutural. Cargas.

Abstract

The present article analyzes results in the loadings of the pillars of the reinforced concrete structure compared to the same structural design in prestressed concrete of a building of 10 floors with smooth slabs. Proposed structural projects in residential and commercial buildings have increased in recent years either through the increasing number of designers in the area of pretension, either by the increase of executing companies or by the ease of execution with the use of greased and plastified coadjustment. The results of loadings originated by the pretension cables are considered in the reinforced concrete project during the processing of the space gantry or flat gantry to obtain the efforts and dimensioning of the pillars, slabs and beams. The objective of the work compares load results in the pillars between the two different situations, one result of loads in the pillars in the structural project without pretension considering only reinforced concrete and the other in the same structural project but with the prestressed slabs. The applied method consists of numerical modeling using commercial CAD / TQS software version 16.8.

Keywords: Hiperestático. Prestressed Concrete. Structural Design. Loads.

1. Introdução

O trabalho apresentado insere-se na área do conhecimento de projeto estrutural. Num projeto com protensão existem diferenças importantes quando comparado com o concreto armado convencional. O simples fato da protensão impor uma carga externa na peça de concreto modifica o comportamento estrutural da mesma. As forças de protensão impõem deformações às seções de concreto e provocam deslocamentos nos elementos protendidos. No caso de elementos isostáticos, não ocorrem restrições a esses deslocamentos e os únicos esforços que atuam nas seções de concreto são os esforços isostáticos de protensão. Mas se o elemento protendido faz parte de uma estrutura hiperestática, ou seja, quando existem vínculos que impedem o livre deslocamento dos nós desse elemento, surgem reações adicionais nos apoios. Essas reações adicionais formam um conjunto de forças auto-equilibradas e surgem, então, esforços adicionais na estrutura, constituídos, normalmente, de momentos fletores que variam linearmente ao longo dos vãos e forças cortantes constantes. Esses esforços adicionais são denominados de hiperestáticos de protensão. A protensão resolve problema de deslocamento (ELS), dimensionamento (ELU) e fissuração conforme o tipo de protensão: completa, limitada ou parcial.

Manual Software CAD/TQS lajes protendidas (2012) define:

Os cabos de protensão funcionam, resumidamente, como ações externas aplicadas a laje. Estas forças têm duas componentes básicas:

- Ação de uma força de compressão centrada;
- Forças de alívio aplicadas ao concreto devido a ação de retificação do cabo quando este é tracionado.

Na Figura 1 apresenta-se uma imagem da estrutura da edificação composta por 10 pavimentos com lajes lisas e espessura 22 cm que foi objeto da análise.

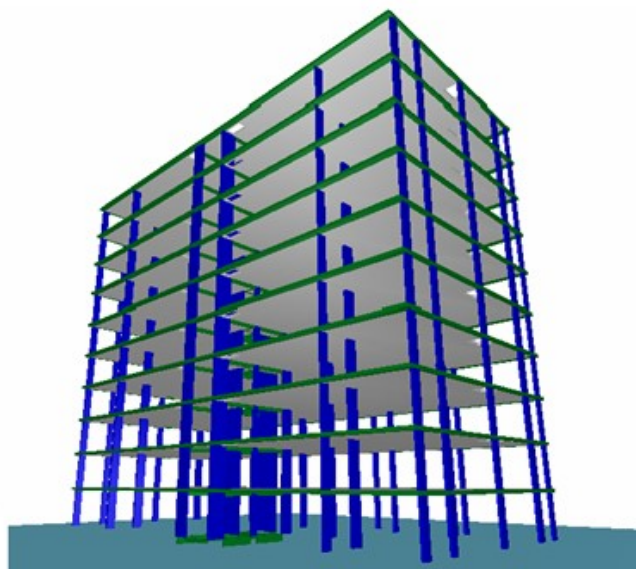


Figura 1 – Software CAD/TQS

Pelo exposto no início da introdução o objetivo deste trabalho foi demonstrar através de um exemplo real de um edifício residencial no bairro Jurerê Internacional em Florianópolis-SC com modelagem numérica, qual a diferença percentual nas cargas dos pilares na fundação entre uma estrutura de concreto armado e a mesma concepção estrutural em concreto protendido, levando em consideração nesta última o hiperestático de protensão. Entende-se como sendo o hiperestático de protensão a ação dos cabos protendidos atuando sobre a laje ou viga a qual ocorre em elementos estruturais hiperestáticos, o que não acontece por exemplo em viga isostática. Em estruturas hiperestáticas, podem ocorrer reações em apoios em decorrência da hiperestaticidade da estrutura, denominadas de momentos hiperestáticos de protensão. A própria norma NBR 6118:2014 enfoca sobre a consideração dos esforços oriundos da protensão.

A NBR 6118:2014 prescreve no item 11.3.3.5 Protensão: “A ação da protensão deve ser considerada em todas as estruturas protendidas, incluindo, além dos elementos protendidos propriamente ditos, aqueles que sofrem ação indireta da protensão, isto é, de esforços hiperestáticos de protensão”.

2. Metodologia

A elaboração do projeto foi realizado com o uso do software CAD/TQS com a simulação para duas situações, a primeira com concepção em concreto armado (sem protensão) e a segunda a mesma estrutura com a presença da protensão em toda a extensão do pavimento. As cargas consideradas foram de acordo com a norma NBR 6120 e NBR 6123, sendo para a carga accidental igual a 1.50 KN/m^2 , carga de revestimento da laje 1.60 KN/m^2 e carga de vento 40 m/s . Na estrutura de concreto armado sem protensão foram adotados os seguintes coeficientes de não linearidade física dos materiais:

- Coeficiente de não linearidade física para as vigas = 0.4
- Coeficiente de não linearidade física para os pilares = 0.8
- Coeficiente de não linearidade física para as lajes = 0.3

Na estrutura em concreto protendido foram adotados os seguintes coeficientes de não linearidade física dos materiais:

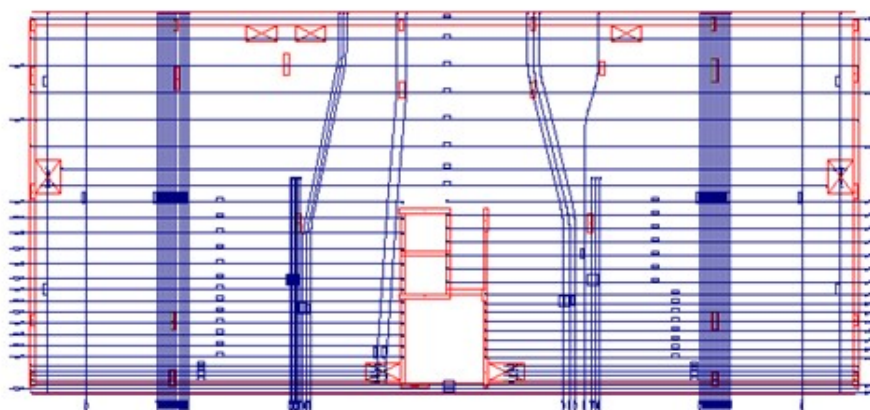
- Coeficiente de não linearidade física para as vigas = 0.7
- Coeficiente de não linearidade física para os pilares = 0.8
- Coeficiente de não linearidade física para as lajes = 0.7

Nas vigas e lajes no caso da estrutura com protensão o coeficiente de não linearidade física pode ser adotado 0.7 pelo fato da protensão promover uma maior rigidez nestes elementos estruturais uma vez que a fissura é nula ou no máximo com abertura menor ou igual 0.2 mm . Para ambas as estruturas o concreto adotado foi com $F_{ck}=35 \text{ MPa}$. Quanto aos pilares na base foram considerados engastados na fundação. O método de análise dos efeitos de 2ª ordem globais adotado foi o P-Delta em ambos os casos de concepção estrutural.

As seções das peças estruturais como pilares, vigas e lajes foram mantidas as mesmas nas duas opções de projeto. No projeto com a opção em protendido o mesmo ficou resolvido todas as questões relacionadas a protensão com atendimento as tensões no concreto (tração e compressão), armaduras e aberturas de fissuras com o cálculo do hiperestático de protensão.

O processamento global da estrutura no sistema CAD/TQS foi considerado o modelo VI o qual considera no pórtico espacial os elementos viga, pilar e laje trabalhando em conjunto e contribuindo de forma significativa para a estabilidade global da estrutura no caso de lajes mais espessas. Um outro fator relevante que vale destacar na estrutura com protensão é o fato de poder aumentar o coeficiente de não linearidade física para vigas e lajes que no caso estudado foi considerado 0.7, proporcionando uma maior rigidez nestas peças estruturais e com isto reduzindo o gama z e promovendo uma redução na taxa de armaduras pois o P-Delta também reduz que é o coeficiente de majoração para os efeitos de segunda ordem.

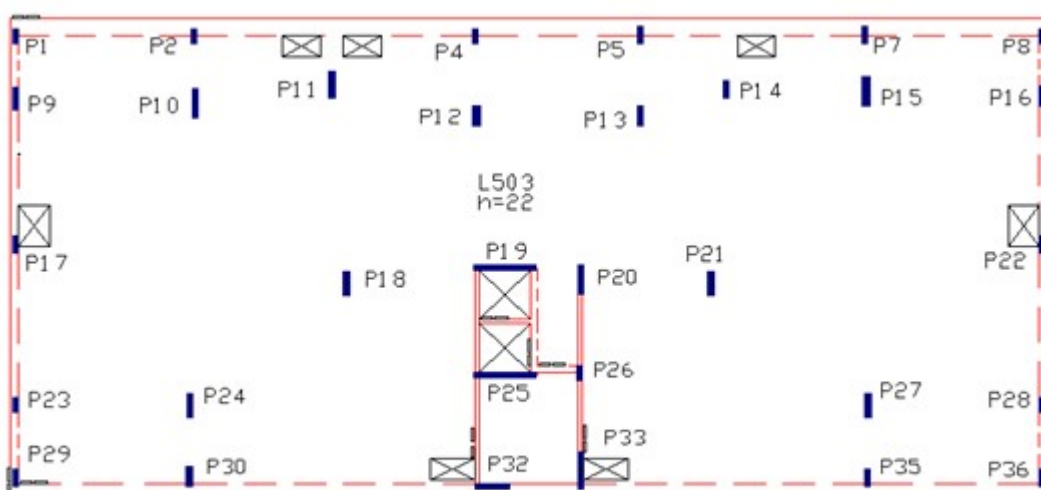
Com o processamento das duas estruturas, obteve-se os valores máximos das cargas verticais dos pilares que estão representados em forma de tabela em resultados.



Fonte: Software CAD/TQS

3.Resultados

Os resultados obtidos das cargas máximas verticais para as duas opções estruturais estão apresentados na tabela com as diferenças percentuais na última coluna.



Fonte: Software CAD/TQS

PILAR	OPÇÃO A - COM PROTENSÃO	OPÇÃO B - SEM PROTENSÃO	DIFERENÇA
	CARGA VERTICAL (Ton)	CARGA VERTICAL (Ton)	
P1	80	86	7,50%
P2	75	79	5,33%
P4	143	148	3,50%
P5	122	122	0,00%
P7	64	63	-1,56%
P8	68	75	10,29%
P9	202	208	2,97%
P10	489	483	-1,23%
P11	300	298	-0,67%
P12	271	266	-1,85%
P13	235	235	0,00%
P14	229	239	4,37%
P15	548	531	-3,10%
P16	203	206	1,48%
P17	199	203	2,01%
P18	556	545	-1,98%
P19	246	242	-1,63%
P20	193	207	7,25%
P21	528	521	-1,33%
P22	207	212	2,42%
P23	177	180	1,69%
P24	548	532	-2,92%
P25	226	225	-0,44%
P26	151	158	4,64%
P27	568	548	-3,52%
P28	176	180	2,27%
P29	74	81	9,46%
P30	233	228	-2,15%
P32	178	183	2,81%
P33	274	297	8,39%
P35	198	201	1,52%
P36	71	75	5,63%
TOTAL	7832	7857	

Fontes: Software CAD/TQS

Vale ressaltar que neste artigo o assunto em análise trata somente da diferença percentual das cargas máximas verticais, não levando em conta o que ocorreu com a variação dos momentos fletores. Assunto este que pode ser objeto de pesquisa para trabalhos futuros.

Quanto aos percentuais das cargas verticais na tabela acima, observa-se que as variações, em geral, são pequenas e percebam que a soma total ficaram muito próximas.

Apresenta-se abaixo resultado parcial de um artigo do eng. Alexandre Domingues Campos que apresenta 4 obras com lajes cogumelo nervuras totalmente diferentes entre si. Percebe-se que os resultados das variações percentuais de cargas verticais estão com ordem de grandeza similares com aquelas que apresento na tabela anterior.

OBRA 1 - SQSW 306				OBRA 2 - SQN 310				OBRA 3 - SQS 310				OBRA 4 - CAMARA			
	Caso1	Caso15			Caso1	Caso15			Caso1	Caso15			Caso1	Caso15	
Pilar	Carga	Carga	Dif	Pilar	Carga	Carga	Dif	Pilar	Carga	Carga	Dif	Pilar	Carga	Carga	Dif
	t	t			t	t			t	t			t	t	
P101	4,7	4,5	-4,3%	P201	24,1	24,1	0,0%	P201	3,4	3,4	0,0%	P401	36,0	34,0	-5,3%
P102	4,9	4,6	-6,1%	P202	14,3	14,5	1,4%	P202	7,9	7,3	-7,6%	P402	70,0	70,0	-0,9%
P103	4,9	4,6	-6,1%	P203	13,4	12,8	-4,5%	P203	-4	-2,8	30,0%	P403	58,0	58,0	-0,2%
P104	4,9	4,6	-6,1%	P204	4,7	5,2	10,6%	P204	9,5	7,9	-16,8%	P404	73,0	73,0	-0,1%
P105	20,3	21,4	5,4%	P205	29,4	30	2,0%	P205	30,6	25,3	-17,3%	P405	40,0	40,0	0,0%
P106	22,7	24,6	8,4%	P206	27	27,3	1,1%	P206	29,5	29	-1,7%	P411	85,0	87,0	1,9%
P107	22,4	24,4	8,9%	P207	5,3	5,6	5,7%	P207	45,8	54,8	19,7%	P412	168,0	168,0	0,4%
P108	23,5	24,9	6,0%	P208	23,4	25,7	9,8%	P208	45	55,3	22,9%	P413	153,0	157,0	2,5%
P109	41,7	41,6	-0,2%	P209	4,4	10,1	129,5%	P209	29,6	30,8	4,1%	P414	82,0	79,0	-3,3%
P110	34,2	35,3	3,2%	P210	16,7	16	-4,2%	P210	21,5	20,2	-6,0%	P415	32,0	32,0	1,3%
P111	33,9	35,1	3,5%	P211	28,2	23,9	-15,2%	P211	20,6	19,7	-4,4%	P417	27,0	26,0	-2,2%
P112	30,0	30,6	2,0%	P212	16,7	15,6	-6,6%	P212	13,3	12	-9,8%	P421	34,0	36,0	6,5%
P113	2,2	3,3	50,0%	P213	28,2	29,1	3,2%	P213	31,7	26,2	-17,4%	P422	3,0	3,0	0,0%
P114	7,8	6,1	-21,8%	P214	48,5	49,4	1,9%	P214	31,4	26,2	-16,6%	P437	36,0	37,0	0,6%
P115	9,2	8,3	-9,8%	P215	48,4	49,3	1,9%	P215	13,3	12,1	-9,0%	P439	88,0	86,0	-1,6%
P116	9,4	8,0	-14,9%	P216	28,1	29,1	3,6%	P216	18,3	16,6	-9,3%	P441	86,0	85,0	-0,5%

Fonte: Artigo eng. Alexandre Domingues Campos

P30	233	228	-2,15%
P32	178	183	2,81%
P33	274	297	8,39%
P35	198	201	1,52%
P36	71	75	5,63%
TOTAL	7832	7857	

Fontes: Software CAD/TQS

4. Conclusão

Compreendendo que as variações percentuais em média ficaram em 5%, estes valores demonstram que a protensão influencia pouco nas cargas verticais dos pilares.

Em muitos casos o projetista de estrutura tem que obter as cargas dos pilares nas fundações num prazo curto para que o seu cliente possa fazer um estudo preliminar da fundação, e neste caso o mesmo não conseguiria em tempo hábil conceber a estrutura com protensão, o que não ocorre se for em concreto armado (sem protensão). Portanto é viável apresentar as cargas das fundações utilizando somente a concepção estrutural em concreto armado acrescentando de 5 a 10% no valor final das cargas como sendo uma planta de carga preliminar. Posteriormente após a conclusão da estrutura com a protensão, se faz a revisão das cargas e transformando em executivo. Em trabalhos futuros pode ser estudado a influência do coeficiente de não linearidade física das lajes protendidas na estabilidade global da estrutura, variação dos momentos fletores dos pilares e fundações.

Referências

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

CAMPOS, Alexandre Domingues. **Influência da Protensão na Cargas dos pilares**, 2010.

MANUAL SOFTWARE CAD/TQS. **lajes protendidas**. São Paulo, 2012