

SEMINÁRIO DE
DOSAGEM E CONTROLE
DOS CONCRETOS
ESTRUTURAIS



Encol S/A - Engenharia, Comércio e Indústria

De Julho a Setembro de 1993

em

*Brasília - Rio de Janeiro - Belo Horizonte
São Paulo - Porto Alegre - Belém*

ÍNDICE

1. Palestrantes	1
2. Sistema de Qualidade Encol	2 a 10
3. Programa de Garantia de Qualidade das Estruturas de Concreto Armado	11 a 21
4. Evolução dos Esforços Solicitantes na Estrutura durante Construção de Ed.de Concreto Armado	22 a 50
5. Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado sob o Ponto de Vista da Corrosão da Armadura	51 a 76

CONSIDERAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Palestra proferida pelos Professores
Márcio R. Correa e Márcio A. Ramalho
EESCUSP/Campus São Carlos

EVOLUÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NA ESTRUTURA DURANTE A CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

1. INTRODUÇÃO

O projeto da estrutura de um edifício de concreto armado normalmente é realizado considerando-se apenas as ações atuantes finais, com a resistência do concreto aos 28 dias.

Entretanto, durante as etapas de construção, a estrutura estará submetida a ações muito diferentes das finais. Além disso, a resistência do concreto varia com o tempo, em função de seu amadurecimento. Assim sendo, a razão entre os esforços solicitantes e resistentes, em um dado momento, pode ser bastante diferente da considerada pelo projetista.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

O principal objetivo deste trabalho é exatamente tentar responder se essas diferenças entre as razões de esforços solicitantes por esforços resistentes, ao longo da execução da obra, ocorre sempre em favor da segurança da estrutura ou se, em algum momento, é possível que essa segurança esteja comprometida.

3. DEFINIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

Cabe ressaltar que a bibliografia internacional sobre esse assunto é parca e pouco precisa. Isso se deve ao fato de que a correta consideração desses efeitos exige condições bastante rigorosas :

- a) adoção de modelos matemáticos muito elaborados (sobreposição de vários pavimentos com a consideração do escoramento)
- b) valores confiáveis das características de resistência e elasticidade do concreto ao longo do tempo.
- c) conhecimento do cronograma de execução da obra.

d) definição do sistema de forma e cimbramento a ser utilizado na edificação.

Dentro desse enfoque, percebe-se que uma avaliação genérica a respeito do problema dificilmente levaria a resultados conclusivos. Assim sendo, optou-se pela adoção de um sistema construtivo e de uma obra específica, onde essas análises pudessem ser realizadas com rigor, produzindo resultados efetivos.

Cabe destacar que apenas foram analisados pilares, vigas e lajes no pavimento tipo, não sendo obtidos resultados para outros pavimentos. Para as análises desejadas, optou-se por uma separação entre 2 grupos de elementos : pilares e pavimentos (vigas e lajes).

4. O PROCESSO CONSTRUTIVO

A tentativa de industrialização das estruturas tem levado a uma notável aceleração do processo construtivo. Essa aceleração conduz à desforma de um pavimento em tempo muito curto. Além disso, a concretagem dos pavimentos subsequentes, que se faz apoiando-se nos pavimentos imediatamente abaixo, também é acelerada. Dessa forma uma combinação indesejada de ações elevadas com baixas resistências do concreto pode ocorrer.

Para a execução da análise, tomou-se um sistema construtivo que, pela sua eficiência e rapidez, pudesse representar condições mais severas para a estrutura. Trata-se do sistema de forma ENCOL, que permite a concretagem de um pavimento tipo a cada 7 dias.

O cronograma de obra, com a utilização desse sistema, pode ser visto na figura 1. Para maiores detalhes, é apresentado um cronograma de concretagem dos pavimentos tipo, na figura 2.

5. O EDIFÍCIO

Adotou-se um pavimento tipo de forma bastante comum, em estrutura convencional, conforme apresenta-se na figura 3. Para a edificação, supôs-se a existência de 1 subsolo, 1 térreo e 12

Cronograma de Obra

Forma ENCOL

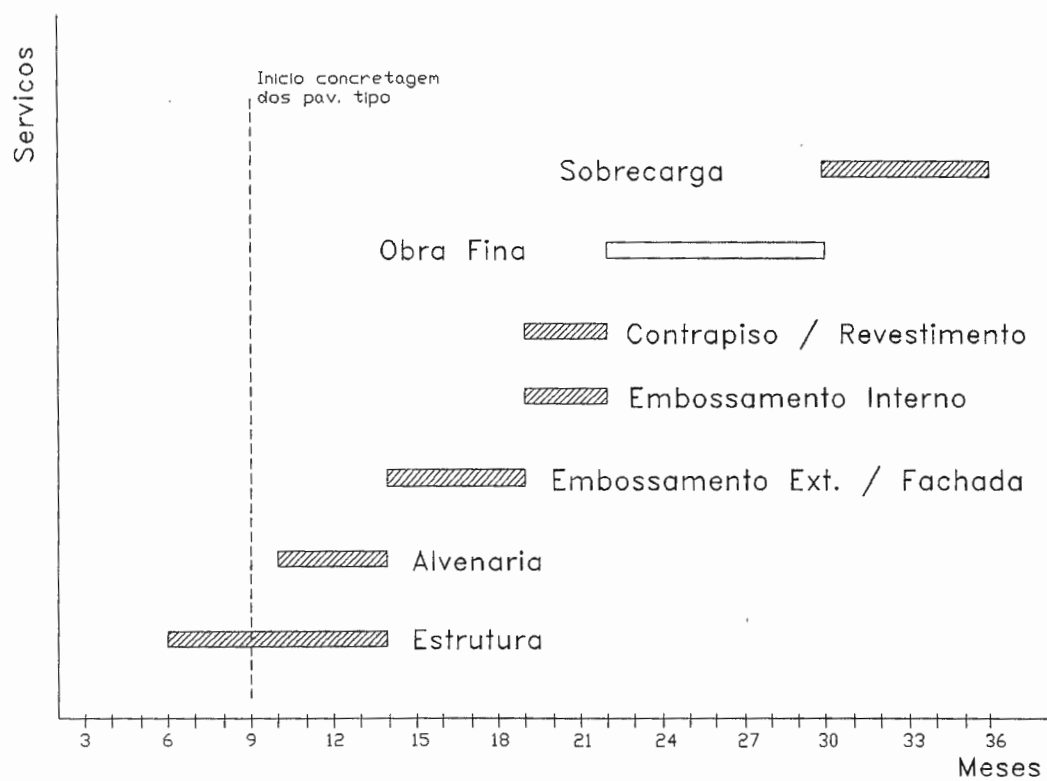


Figura 1

Cronograma de concretagem

Forma ENCOL

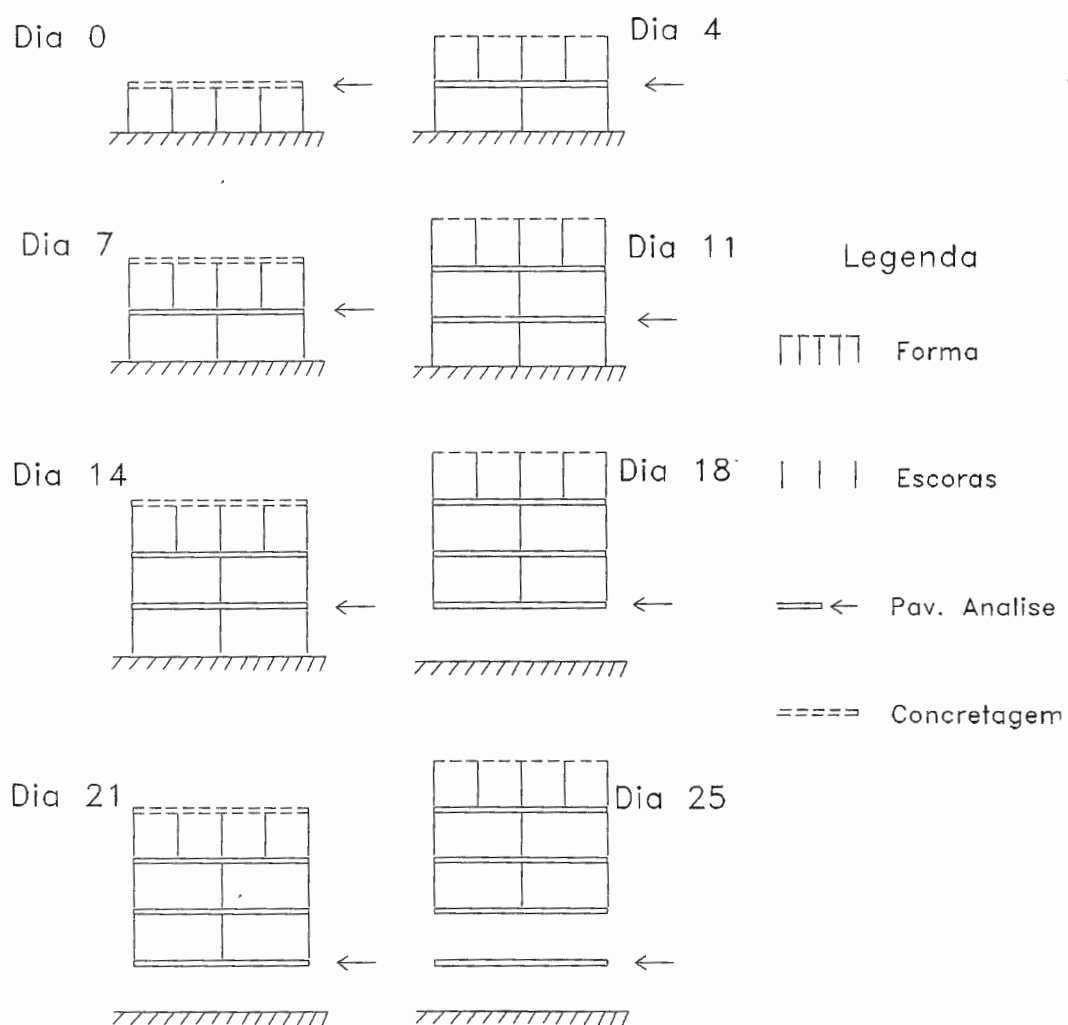


Figura 2

Forma do Pav. Tipo

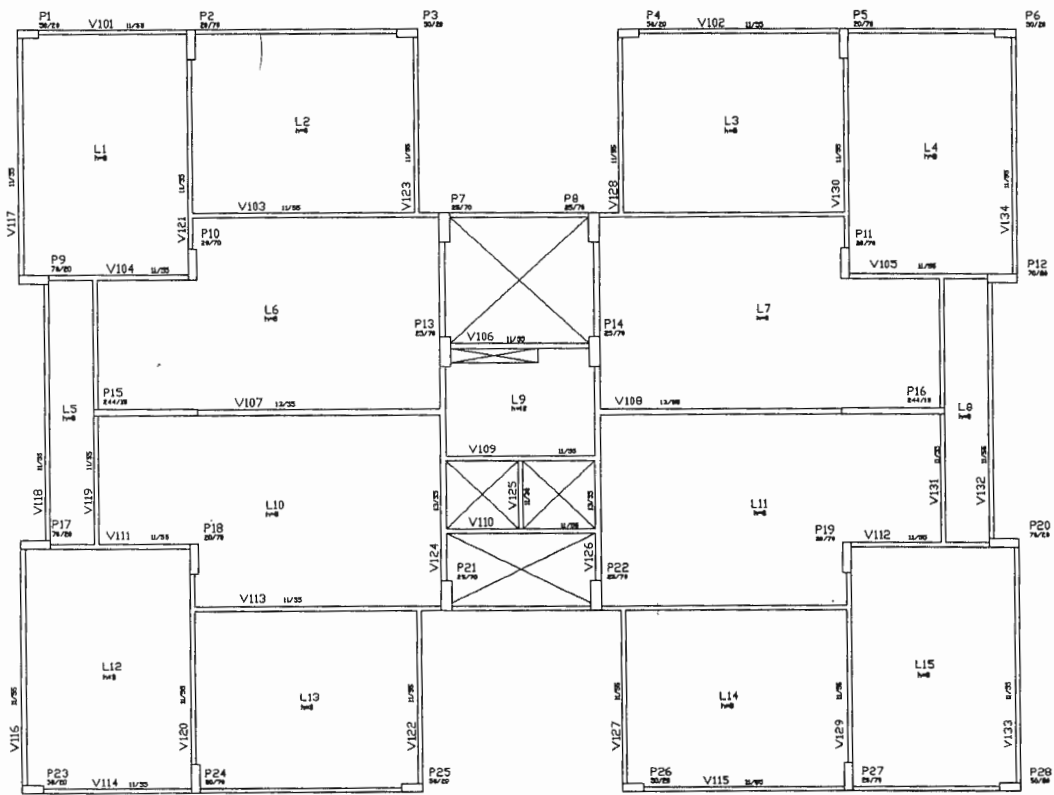


Figura 3

pavimentos tipo. A resistência característica do concreto foi adotada como sendo 21 MPa.

O projeto de cimbramento, realizado pelos profissionais da ENCOL S/A, para o pavimento a ser analisado indicou escoras nos pontos indicados na figura 4.

6. RESULTADOS PARA OS PILARES

Para a análise dos pilares da edificação, foi definido um intervalo de observação relativamente longo, de 1 a 810 dias (27 meses). Trata-se do período onde se devem desenvolver todas as solicitações possíveis para esses elementos.

Inicialmente, o pavimento teve sua geometria modelada em elementos finitos e foram considerados, separadamente, os seguintes carregamentos :

- a) Peso próprio da estrutura.
- b) Alvenarias (sem revestimento).
- c) Embossamento externo e fachada.
- d) Embossamento interno.
- e) Contrapiso e revestimento.
- f) Sobrecarga de utilização.

Os resultados obtidos por essas análises encontram-se organizados nas tabelas 1 (resultados em kN) e 2 (resultados percentuais). A observação desses resultados mostra como varia sobre os pilares a ação dos serviços a serem executados durante a construção do edifício.

A consideração dos valores da tabela 1 em conjunto com o cronograma de execução da obra (figura 1) permite que se conheça os valores dos esforços normais nos pilares em qualquer tempo. Para tanto, considerando-se as seções mais críticas como sendo as que se localizam imediatamente abaixo do pavimento tipo, basta multiplicar os valores da tabela 1 por 12 (considera-se 12 pavimentos tipos), aplicando-se, para o instante desejado, as ações correspondentes às fases já executadas. Dessa forma, pode-se montar as tabelas 3 e 4, que apresentam os esforços normais solicitantes para todos os pilares em kN e valores percentuais, respectivamente.

Escoras de Lajes e Vigas

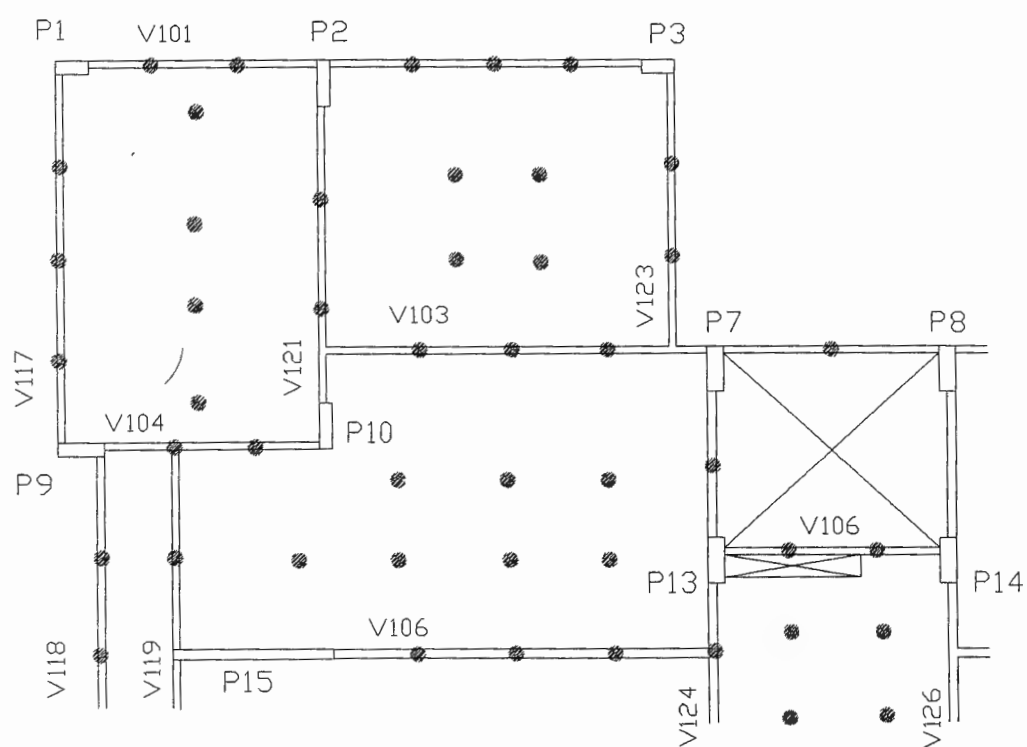


Figura 4

Tabela 1 - Reações nos Pilares por Serviços Executados (kN)

PILAR	PPROP (kN)	ALV (kN)	EEXT (kN)	EINT (kN)	CPISO (kN)	SCARGA (kN)	TOTAL (kN)
P1	21.13	8.64	7.89	4.08	3.30	5.87	50.91
P2	54.22	20.14	11.06	22.02	13.14	23.47	144.05
P3	21.93	10.53	8.09	9.36	3.48	6.21	59.60
P7	66.90	24.00	6.00	19.45	9.95	17.76	144.06
P9	37.25	12.56	9.42	6.86	6.61	11.80	84.50
P10	63.54	24.91	0.91	21.80	18.28	32.65	162.09
P13	60.90	16.72	-1.11	15.54	8.45	15.07	115.57
P15	83.00	16.91	5.84	16.60	18.42	32.88	173.65
TOT	408.87	134.42	48.10	115.71	81.63	145.70	934.43

Tabela 2 - Reações nos Pilares por Serviços Executados (%)

PILAR	PPROP (%)	ALV (%)	EEXT (%)	EINT (%)	CPISO (%)	SCARGA (%)	TOTAL (%)
P1	42	17	16	8	6	11	100
P2	38	15	7	15	9	16	100
P3	37	18	14	16	6	10	100
P7	46	17	4	14	7	12	100
P9	44	15	11	8	8	14	100
P10	39	15	1	14	11	20	100
P13	53	14	-1	14	7	13	100
P15	48	10	3	9	11	19	100
TOT	44	14	5	12	9	16	100

Tabela 3 - Forças Normais Atuantes nos Pilares (kN)
(Seção abaixo do 1^o Pav. Tipo)

IDADE	P01 (KN)	P02 (KN)	P03 (KN)	P07 (KN)	P09 (KN)	P10 (KN)	P13 (KN)	P15 (KN)
4 dias	14.5	30.4	14.7	33.0	25.4	32.3	32.5	60.4
14 "	51.5	126.6	52.7	107.2	101.7	150.3	101.5	209.5
28 "	105.6	271.1	109.7	334.5	186.3	317.7	304.5	415.0
5 meses	357.2	892.3	389.5	140.8	597.7	1061.4	981.4	1198.9
13 "	540.4	1446.9	640.7	565.6	872.4	1553.3	1255.9	1689.2
27 "	610.9	1728.5	715.2	778.1	1014.0	1945.1	1436.7	2083.8

Tabela 4 - Forças Normais Atuantes nos Pilares (%)
(Seção abaixo do 1^o Pav. Tipo)

IDADE	P01 (%)	P02 (%)	P03 (%)	P07 (%)	P09 (%)	P10 (%)	P13 (%)	P15 (%)
4 dias	2	2	2	2	3	2	3	3
14 "	8	7	7	7	10	8	9	10
28 "	17	16	15	19	18	16	21	20
5 meses	58	52	54	64	59	55	68	58
13 "	88	84	90	88	80	80	87	81
27 "	100	100	100	100	100	100	100	100

Em seguida, para a determinação das normais resistentes, deve-se executar o dimensionamento dos pilares. Esse dimensionamento, executado como usualmente se faz num escritório de projetos, considera as ações finais e a resistência do concreto aos 28 dias. Como único detalhe a ser destacado, aos pilares P7 e P13 foi adicionada carga devida à caixa d'água. Os valores assim obtidos encontram-se na tabela 5.

Como último passo, realiza-se a determinação das normais resistentes, para as mesmas datas em que foram determinados os esforços solicitantes. Nesse caso, é importante a resistência característica do concreto em todas essas datas. Para uma análise mais completa, optou-se pela utilização de resistências do concreto com controle efetuado aos 28 e aos 63 dias. Os valores assim obtidos encontram-se nas tabelas 6 e 7, respectivamente em kN e percentagem do valor final.

Tabela 5 - Dimensionamento dos Pilares
(Seção abaixo do 1º Pav. Tipo, $f_{ck} = 21 \text{ MPa}$)

PILAR	SEÇÃO (cm x cm)	CARGA (KN)	As (cm ²)
P1	20 x 50	610.9	(*) 5.00
P2	20 x 70	1728.5	42.39
P3	20 x 50	715.2	7.94
P7	25 x 70	1778.1	19.08
P9	20 x 70	1014.0	11.22
P10	20 x 70	1945.1	51.63
P13	25 x 70	1436.7	(*) 8.75
P15	15 x 244	2083.8	35.61

(*) : Armadura a mínima calculada com 0.5% de $B_w \times H$

Com todos os valores de esforços, solicitantes e resistentes, já determinados, pode-se efetuar a comparação entre eles, apresentando-se para cada pilar um gráfico com as 3 curvas a serem analisadas. Esses gráficos são apresentados nas páginas 12 a 15. Pode-se observar então que para os pilares o crescimento dos esforços resistentes é muito mais rápido que o dos esforços solicitantes, podendo-se garantir para todas as peças analisadas condições de segurança muito satisfatórias durante a execução da obra.

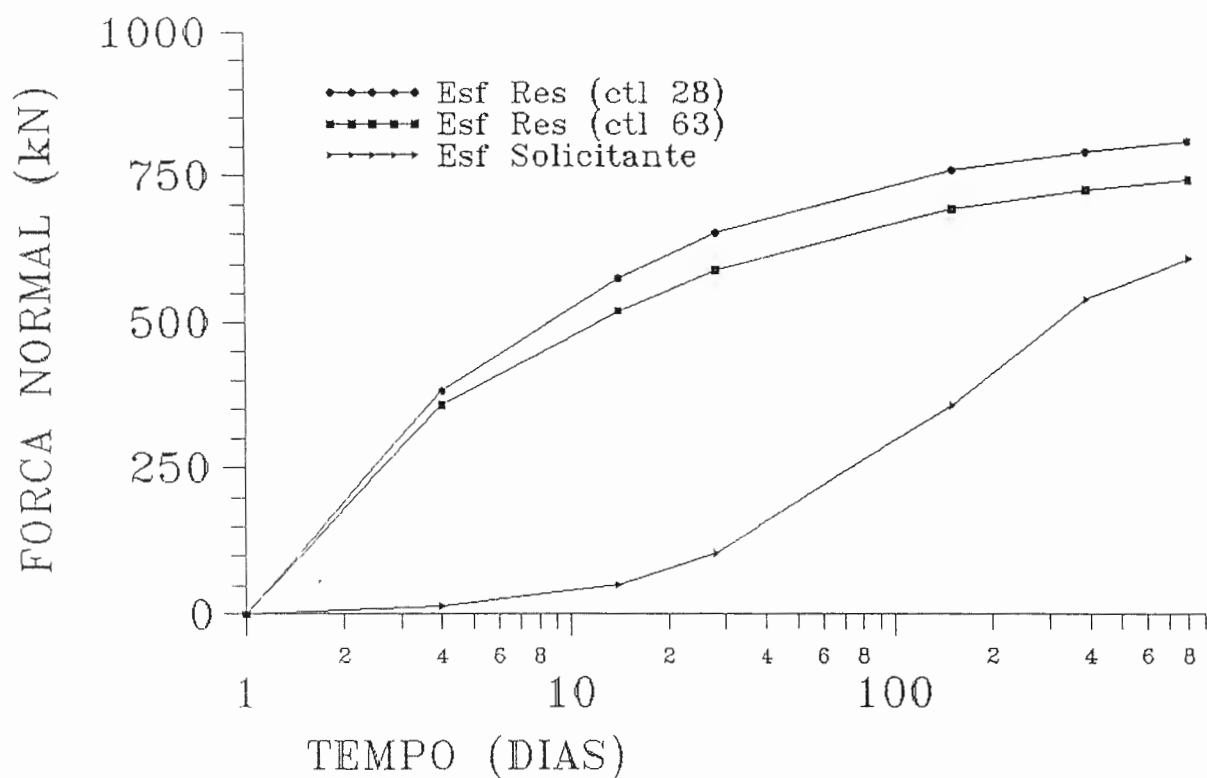
Tabela 6 - Forças Normais Resistentes nos Pilares (kN)

IDADE	P01	P02	P03	P07	P09	P10	P13	P15
CONTROLE AOS 28 DIAS								
4 dias	382.	1387.	460.	1168.	656.	1614.	906.	1462.
14 "	577.	1627.	640.	1600.	909.	1845.	1338.	1927.
28 "	652.	1728.	716.	1778.	1014.	1945.	1517.	2085.
5 meses	759.	1883.	829.	2050.	1172.	2098.	1788.	2333.
13 "	791.	1933.	866.	2136.	1225.	2148.	1873.	2419.
27 "	811.	1964.	889.	2191.	1257.	2180.	1930.	2486.
CONTROLE AOS 63 DIAS								
4 dias	357.	1340.	422.	1075.	603.	1568	815.	1358.
14 "	520.	1550.	583.	1463.	830.	1770	1202.	1802.
28 "	590.	1644.	653.	1630.	928.	1862	1370.	1956.
5 meses	693.	1784.	758.	1882.	1072.	2002	1618.	2172.
13 "	726.	1831.	790.	1963.	1119.	2047	1698.	2242.
27 "	743.	1858.	811.	2007.	1147.	2075	1746.	2289.

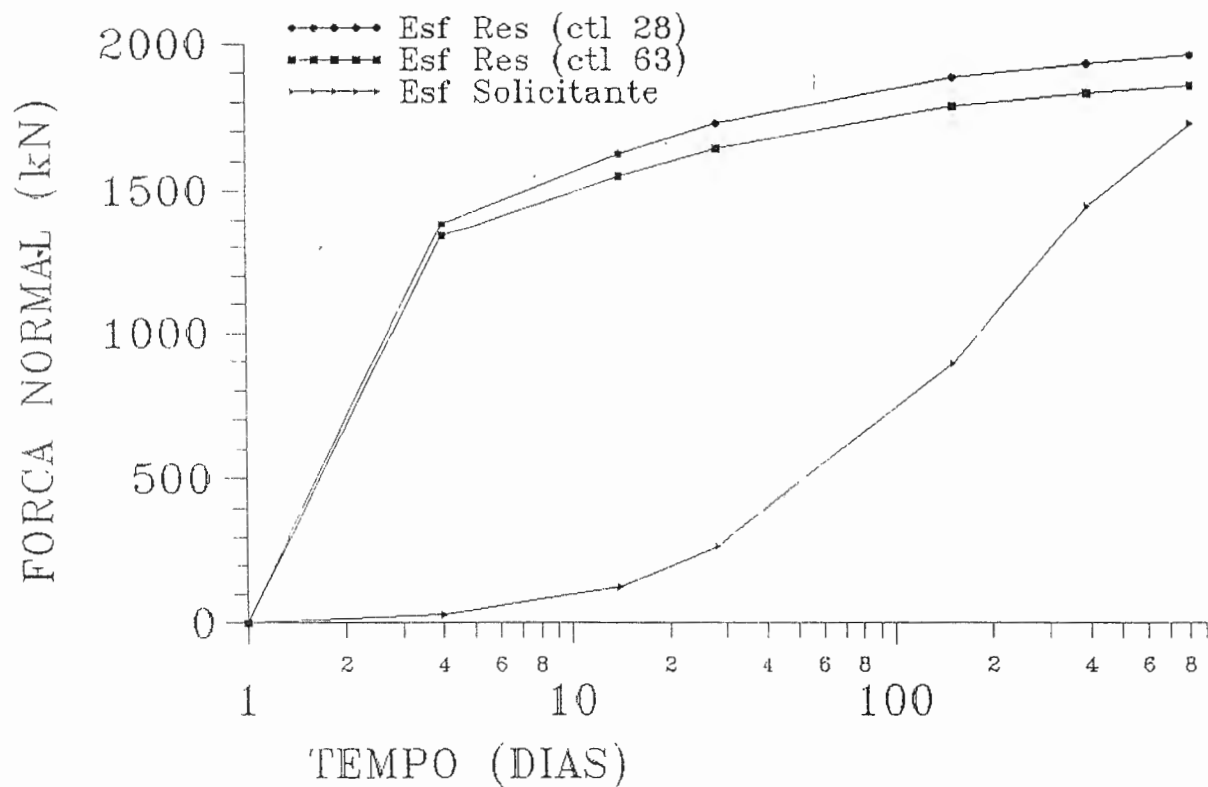
Tabela 7 - Forças Normais Resistentes nos Pilares (%)

IDADE	P01	P02	P03	P07	P09	P10	P13	P15
CONTROLE AOS 28 DIAS								
4 dias	47	71	52	53	52	74	47	59
14 "	71	83	72	73	72	85	69	78
28 "	80	88	81	81	81	89	79	84
5 meses	94	96	93	94	93	96	93	94
13 "	98	98	97	97	97	99	97	97
27 "	100	100	100	100	100	100	100	100
CONTROLE AOS 63 DIAS								
4 dias	48	72	52	54	53	76	47	59
14 "	70	83	72	73	72	85	69	79
28 "	79	88	81	81	81	90	78	85
5 meses	93	96	93	94	93	96	93	95
13 "	98	99	97	98	98	99	97	98
27 "	100	100	100	100	100	100	100	100

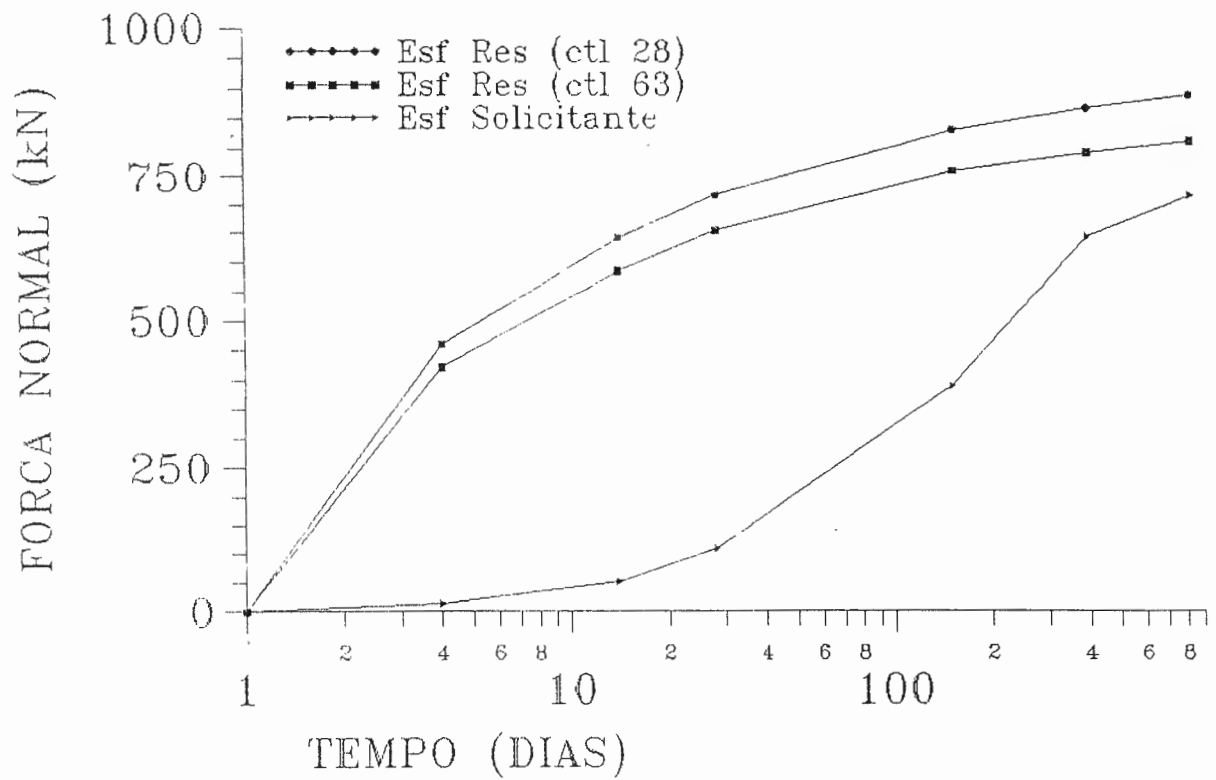
PILAR P01



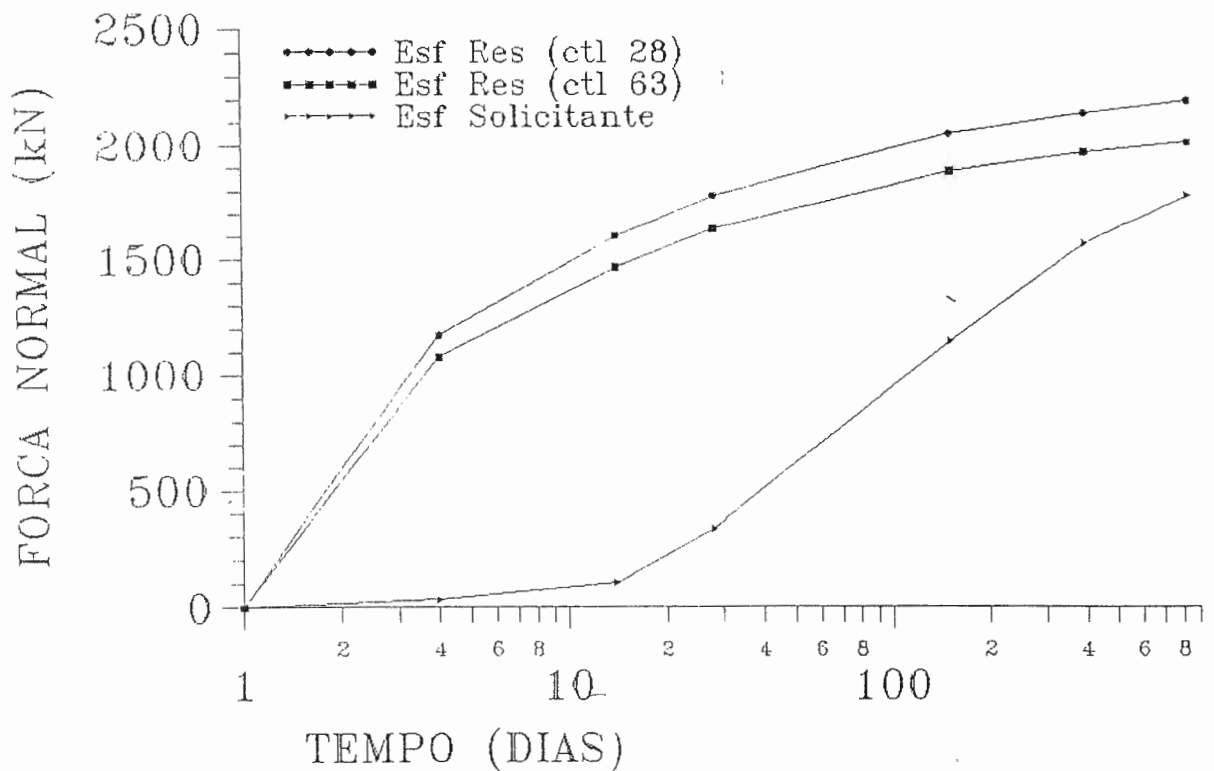
PILAR P02



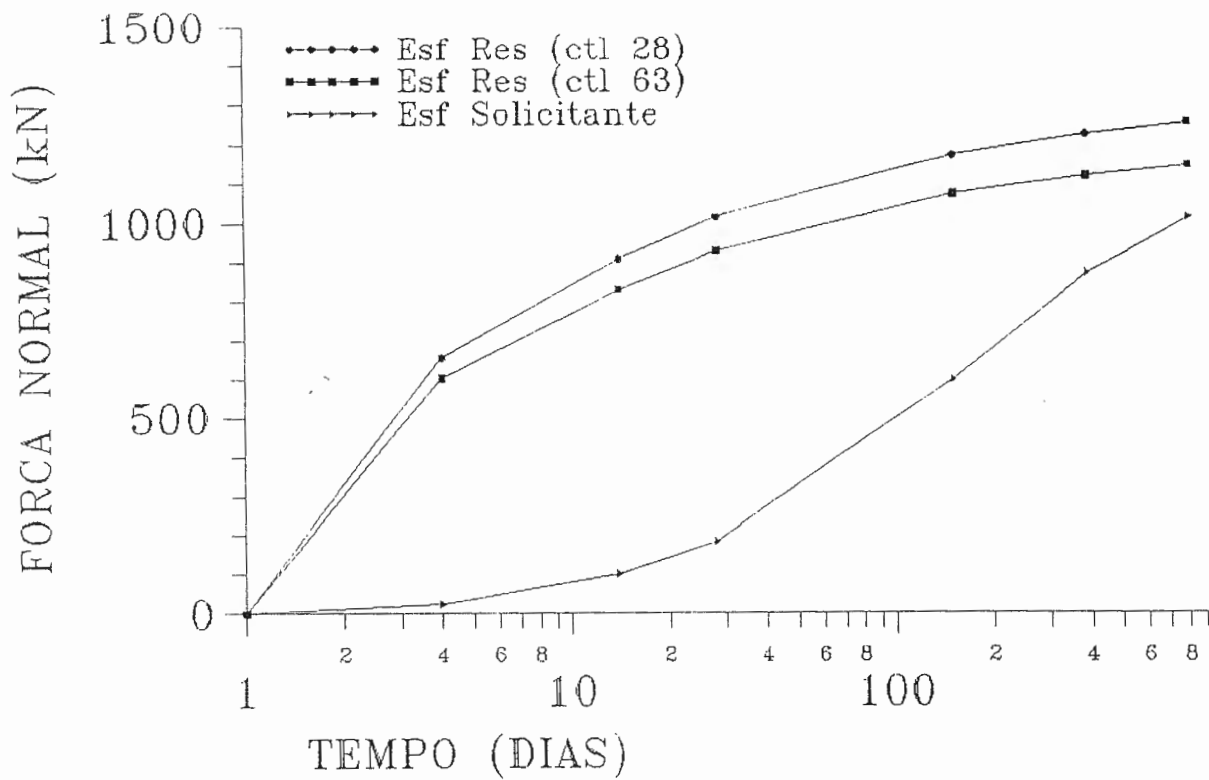
PILAR P03



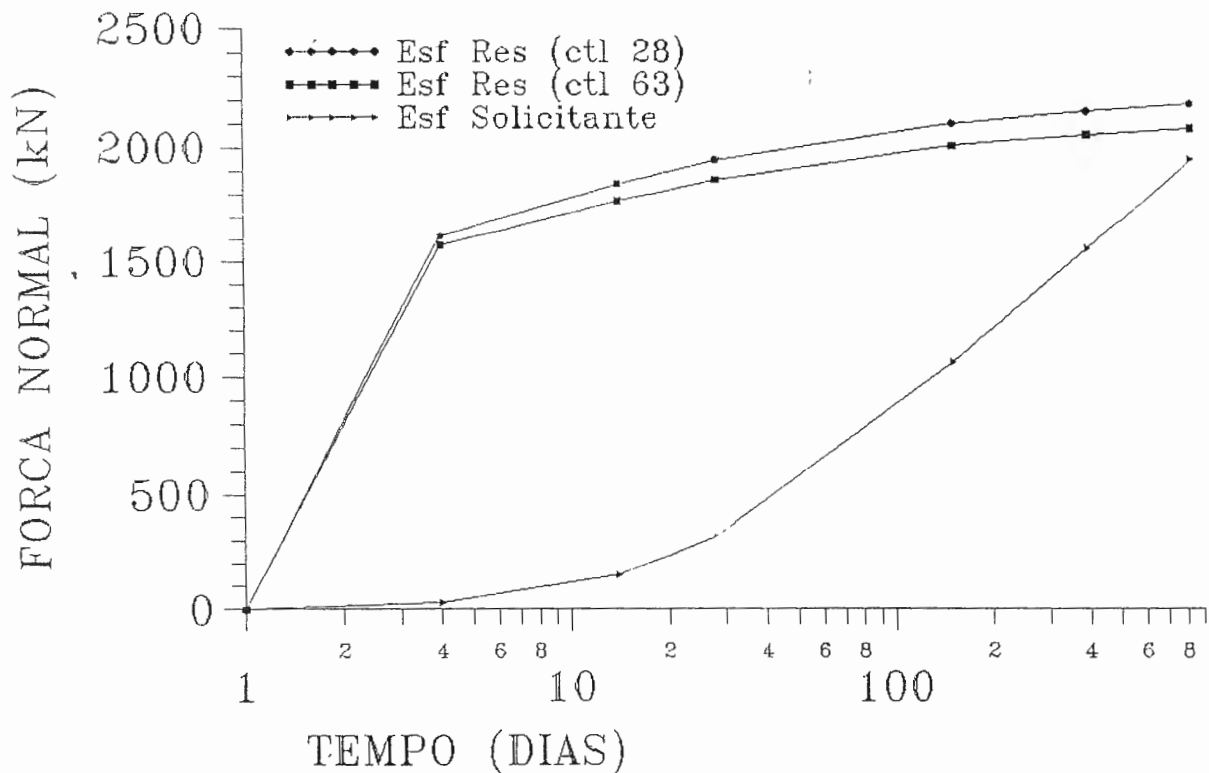
PILAR P07



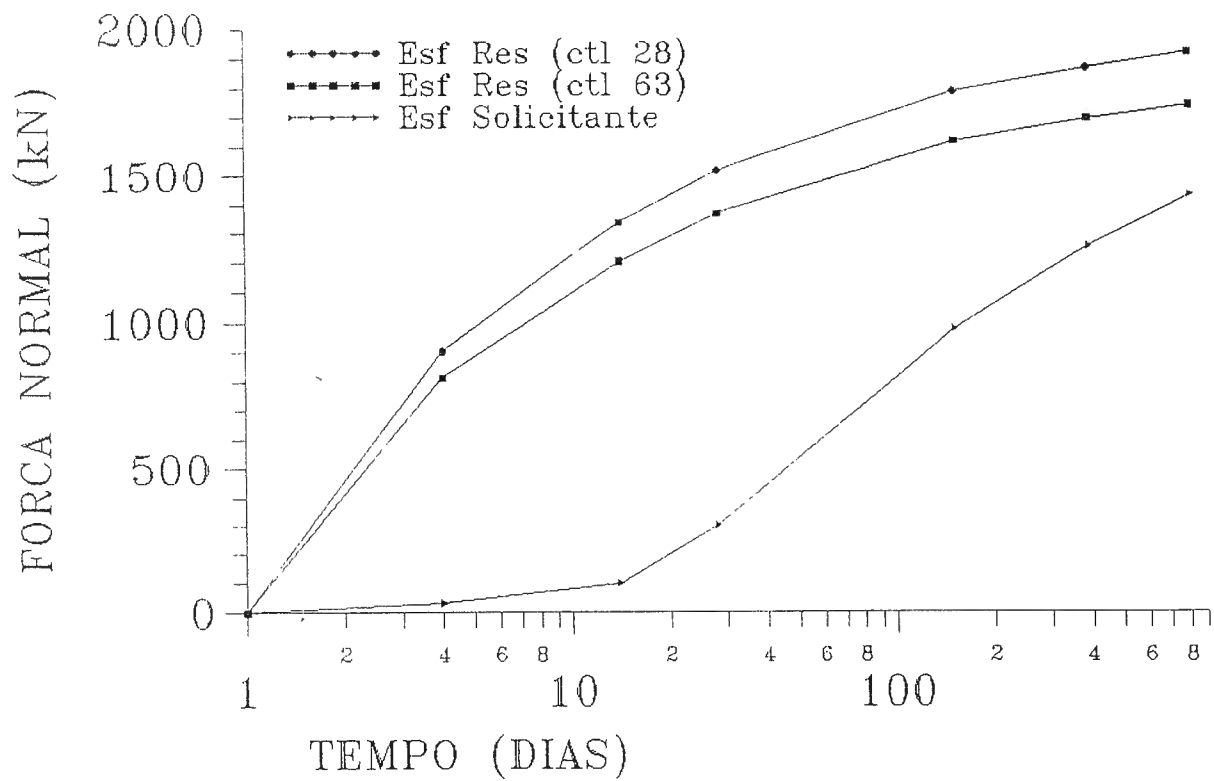
PILAR P09



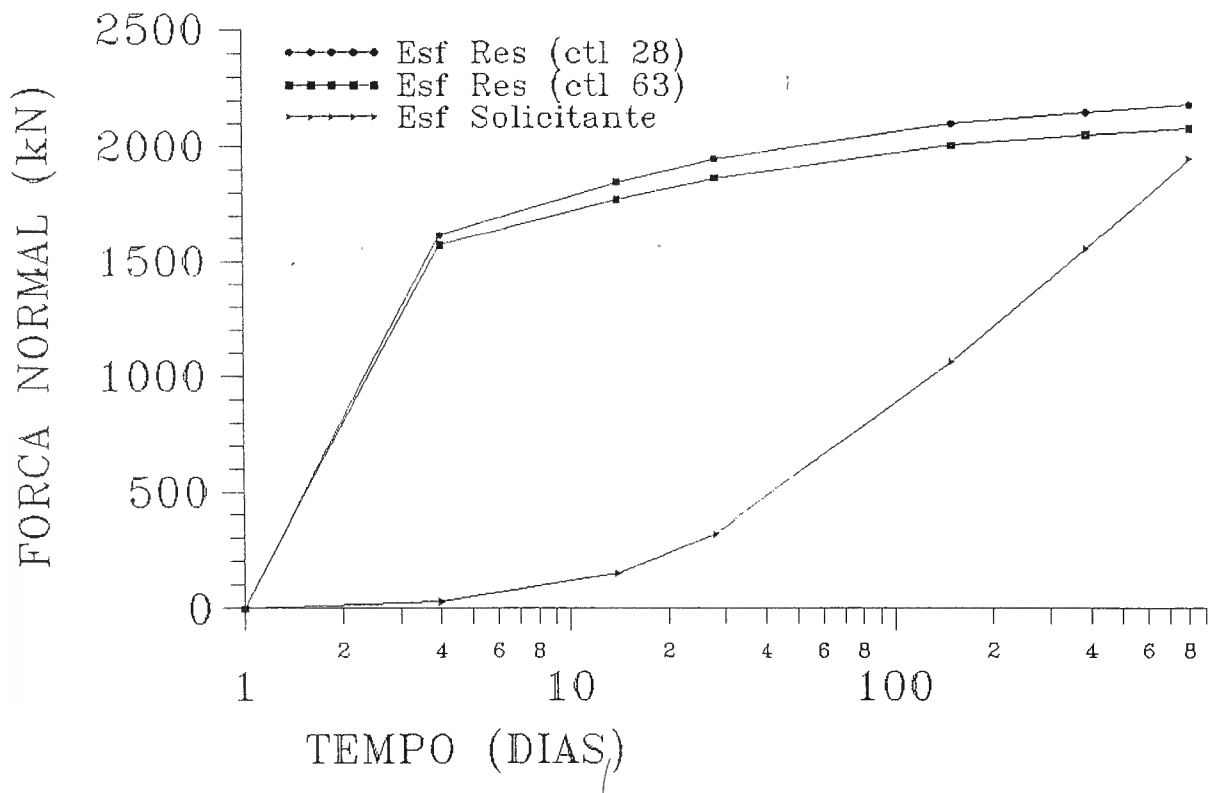
PILAR P10



PILAR P13



PILAR P15



7. RESULTADOS PARA OS PAVIMENTOS (LAJES E VIGAS)

Em relação aos pavimentos, conforme observa-se no cronograma de concretagem mostrado na figura 2, o período crítico ocorre entre 0 e 21 dias. Após esse período, as escoras que ligam o pavimento considerado aos subsequentes são retiradas e as ações atuantes tendem a uma redução drástica. A partir desse instante, as cargas somente voltarão a crescer de forma muito lenta, com a execução das etapas previstas no cronograma da figura 1. Portanto, a análise do pavimento se dará em intervalo mais curto que nos pilares, ou seja, de 0 a 21 dias.

Para a análise dos pavimentos foram construídos seis modelos em elementos finitos. Esses modelos correspondem à situação verificada para os dias 4,7,11,14,18 e 21 do cronograma de concretagem. Nesses modelos, foram utilizados para os pavimentos as características elásticas corretamente calculadas em função da idade. Para tanto foram utilizadas as expressões do CEB-FIP-MC 90. Apenas como ilustração, apresenta-se na figura 5 a perspectiva de um dos modelos utilizados.

A massa de resultados obtidos por essas análises é bastante grande. Como simplificação, foram adotados 6 pontos de controle para as lajes e 6 pontos para as vigas. Esses pontos encontram-se mostrados na figura 6 e, sem dúvida, são representativos da situação geral. Nas tabelas 8 e 9 estão organizados os valores dos momentos flettores solicitantes obtidos para todos esses pontos. Para uma comparação mais efetiva, apresentam-se ainda as tabelas 10 e 11, onde esses mesmos valores aparecem em números percentuais em relação aos valores finais.

Calculados todos os momentos solicitantes pode-se dimensionar os elementos, considerando-se os valores finais e a resistência do concreto aos 28 dias (f_{ck} igual a 21 MPa). Esses dimensionamentos são apresentados pelas tabelas 12 e 13, respectivamente para lajes e vigas.

Por fim, com as peças já dimensionadas, pode-se efetuar a determinação dos momentos flettores resistentes, considerando-se para tanto as características de resistência do concreto na idade considerada. Os valores assim obtidos, tanto para o controle aos 28 como aos 63 dias, estão organizados nas tabelas 14 e 15, respectivamente para lajes e vigas.

Modelo - Elem. Finitos

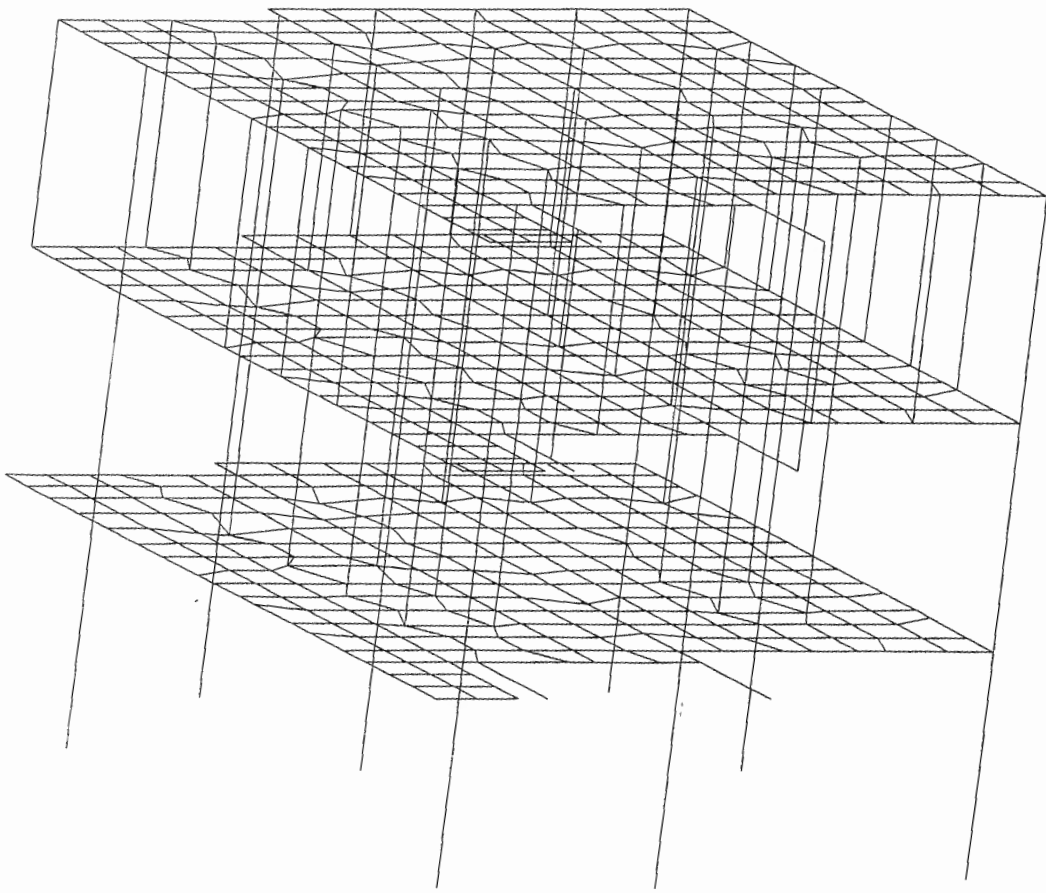


Figura 5

Pontos para Lajes e Vigas

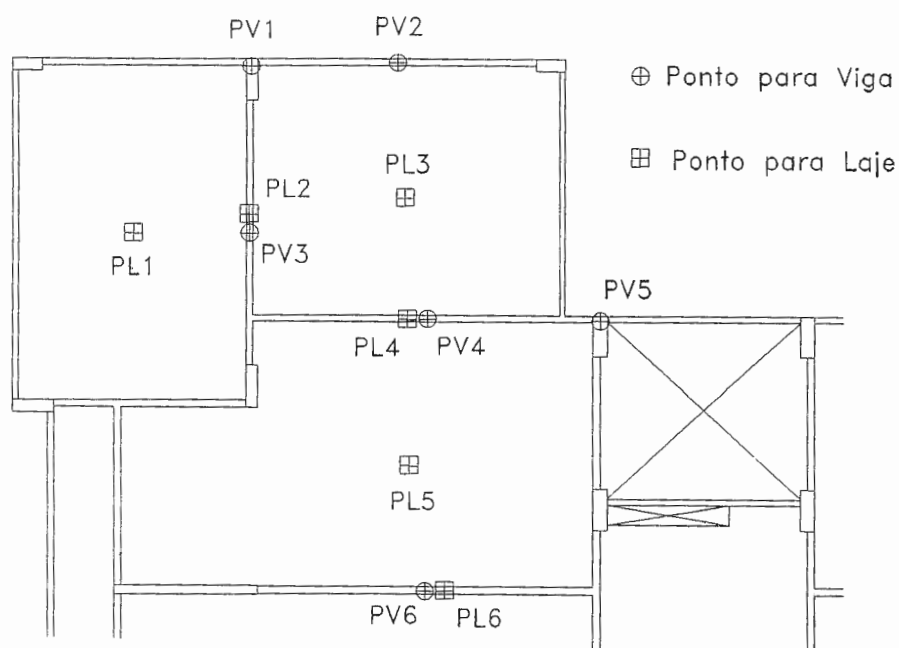


Figura 6

Tabela 8 - Momentos Atuantes nas Lajes (kN x m / m)

IDADE	PL1 mx	PL2 mx	PL3 my	PL4 my	PL5 my	PL6 my
4 dias	-0.57	-0.24	-0.19	0.12	-0.19	-0.18
7 "	-1.30	-0.79	-0.34	-0.79	-0.31	-0.63
11 "	-0.66	0.15	-0.40	0.80	-0.70	0.73
14 "	-0.43	0.10	-0.37	1.12	-0.90	1.04
18 "	2.36	-2.42	2.63	-2.24	1.91	-2.28
21 "	3.71	-3.76	4.20	-3.73	3.28	-3.83
FINAL	5.88	-6.38	7.21	-6.04	4.68	-5.74

Tabela 9 - Momentos Atuantes nas Vigas (kN x m)

IDADE	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6
4 dias	-3.73	2.74	7.02	5.63	-7.39	3.28
7 "	-6.78	5.47	13.30	9.30	-12.80	7.48
11 "	-7.78	7.27	17.93	14.58	-13.79	16.16
14 "	-10.08	9.93	27.89	24.30	-20.37	27.10
18 "	-9.43	9.57	29.12	29.73	-23.86	39.98
21 "	-10.83	11.34	36.97	39.80	-30.78	54.52
FINAL	-28.06	29.71	85.23	86.90	-70.74	99.52

Tabela 10 - Momentos Atuantes nas Lajes (%)

IDADE	PL1 mx	PL2 mx	PL3 my	PL4 my	PL5 my	PL6 my
4 dias	- 10	4	- 3	- 2	- 4	3
7 "	- 22	12	- 5	13	- 7	11
11 "	- 11	- 2	- 6	- 13	- 15	- 13
14 "	- 7	- 25	- 5	- 19	- 19	- 18
18 "	40	38	36	37	41	40
21 "	63	59	58	62	70	67
FINAL	100	100	100	100	100	100

Tabela 11 - Momentos Atuantes nas Vigas (%)

IDADE	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6
4 dias	13	9	8	6	10	3
7 "	24	18	16	11	18	8
11 "	28	24	21	17	20	16
14 "	36	33	33	28	29	27
18 "	34	32	34	34	34	40
21 "	39	38	43	46	44	55
FINAL	100	100	100	100	100	100

Tabela 12 - Dimensionamento das Lajes

PONTO DE LAJE	MOMENTO FLETOR (KN x M / M)	As (CM2/M)
PL1	5.88	2.91
PL2	-6.38	3.18
PL3	7.21	3.64
PL4	-6.04	3.00
PL5	4.68	2.28
PL6	-5.74	2.83

Tabela 13 - Dimensionamento das Vigas

PONTO DE VIGA	SEÇÃO (cm x cm)	MOMENTO FLETOR (kN x m)	As (cm2)
PV1	11 x 55	-28.08	1.88
PV2	11 x 55	29.71	1.89
PV3	11 x 55	85.23	5.48
PV4	11 x 55	86.90	5.60
PV5	11 x 55	-70.74	5.33
PV6	13 x 55	99.52	6.36

Como observação importante, cabe destacar que para as lajes foram calculados os momentos de fissuração. Essa providência tornou-se necessária pois observou-se nas lajes a inversão do sentido dos esforços em todos os pontos controlados. Isso se deve ao fato do escoramento ser relativamente rígido em relação às lajes. Desse modo, um ponto cujo esforço solicitante final atuava como uma tração embaixo, nos primeiros dias analisados apresentava momentos fletores de tração em cima e vice-versa.

Tabela 14 - Momentos Resistentes nas Lajes (kN x m / m)

IDADE	PL1 mx	PL2 mx	PL3 my	PL4 my	PL5 my	PL6 my	M. Fiss (*)
CONTROLE AOS 28 DIAS							
4 dias	5.48	-5.90	6.59	-5.62	4.44	-5.37	1.60
14 "	5.68	-6.14	6.90	-5.84	4.57	-5.56	1.92
28 "	5.77	-6.25	7.04	-5.93	4.61	-5.64	2.12
5 meses	5.81	-6.29	7.10	-5.97	4.64	-5.67	2.22
13 "	5.84	-6.33	7.15	-6.00	4.65	-5.71	2.32
27 "	5.85	-6.35	7.17	-6.02	4.66	-5.72	2.36
CONTROLE AOS 63 DIAS							
4 dias	5.34	-5.74	6.38	-5.48	4.35	-5.24	1.45
14 "	5.58	-6.03	6.75	-5.73	4.50	-5.74	1.75
28 "	5.69	-6.16	6.92	-5.85	4.57	-5.57	1.95
5 meses	5.73	-6.21	6.99	-5.89	4.59	-5.61	2.03
13 "	5.77	-6.25	7.05	-5.93	4.61	-5.65	2.13
27 "	5.79	-6.27	7.07	-5.95	4.66	-5.66	2.17

Tabela 15 - Momentos Resistentes nas Vigas (kN x m)

IDADE	PV1 mx	PV2 mx	PV3 my	PV4 my	PV5 my	PV6 my
CONTROLE AOS 28 DIAS						
4 dias	26.56	29.22	83.79	85.55	40.06	92.63
14 "	27.33	29.39	84.51	86.31	64.75	94.57
28 "	27.66	29.46	84.82	86.63	67.43	95.41
5 meses	27.80	29.49	84.95	86.77	68.55	95.76
13 "	27.92	29.52	85.06	86.89	69.54	96.07
27 "	27.97	29.53	85.11	86.93	69.91	96.19
CONTROLE AOS 63 DIAS						
4 dias	26.05	29.11	83.32	85.06	27.01	91.36
14 "	26.96	29.31	84.17	85.95	53.75	93.65
28 "	27.38	29.41	84.55	86.36	65.15	94.70
5 meses	27.53	29.43	84.69	86.50	66.36	95.08
13 "	27.67	29.47	84.83	86.64	67.53	95.44
27 "	27.73	29.48	84.89	86.70	68.01	95.59

Assim sendo, como, teóricamente, não deveria estar prevista nenhuma armadura para o combate dessas inversões, a comparação correta deve ser feita com o momento de fissuração. Ressalta-se que para as vigas nenhuma inversão foi verificada, pois as escoras não apresentam rigidez relativa suficiente para produzi-la.

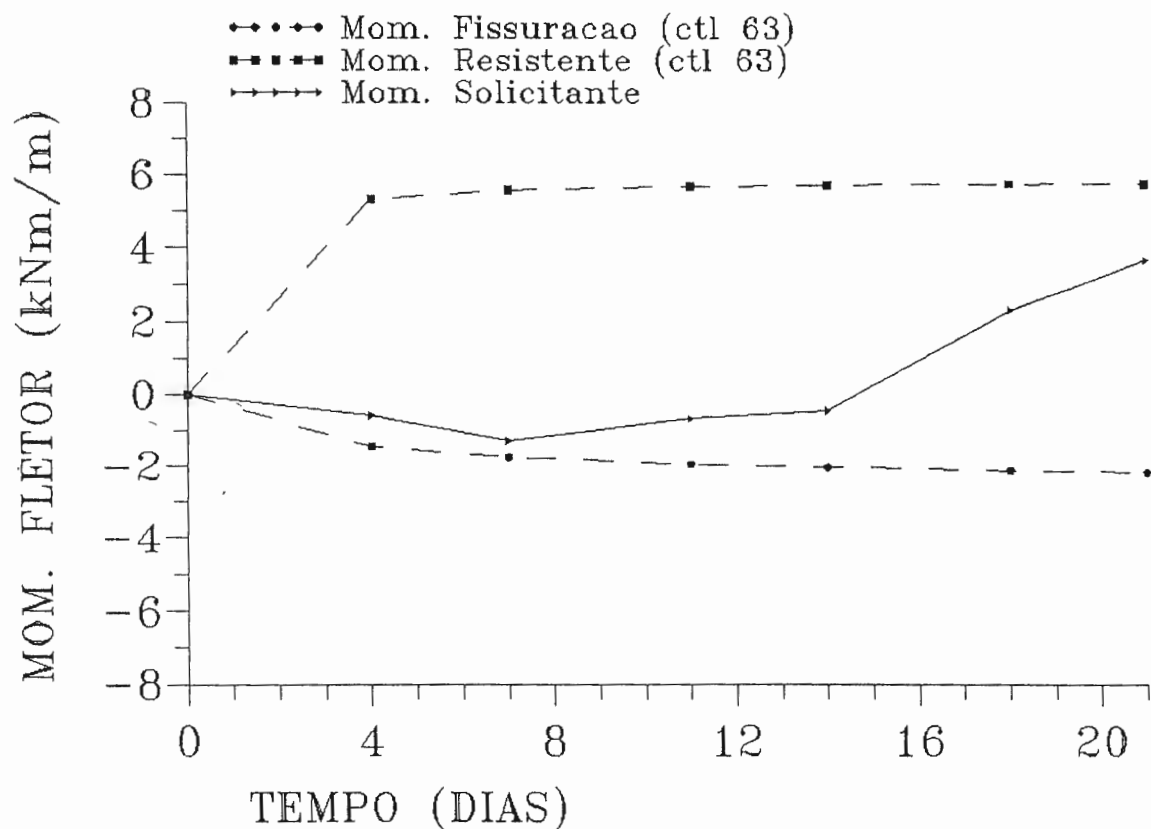
Para um acompanhamento mais eficiente dos valores levantados, de modo semelhante ao que foi realizado para os pilares, pode-se apresentar as curvas de momentos atuantes e resistentes. Destaca-se que, para as lajes, gráficos nas páginas 23, 24 e 25, apresentam-se apenas os momentos resistentes para controle aos 63 dias (valores mais críticos). Já para as vigas, gráficos nas páginas 26, 27 e 28, devido ao menor número de curvas, volta-se a apresentar os valores de momentos resistentes para controle aos 28 e 63 dias.

Pela comparação dos valores obtidos, o que pode ser feito com facilidade pela observação dos gráficos apresentados, verifica-se que mesmo para as lajes e vigas, os esforços solicitantes mantêm-se em patamares aceitáveis em relação aos resistentes. Dessa forma pode-se concluir, pelo menos para os casos usuais, que dificilmente problemas estruturais poderão advir dessa aceleração do processo construtivo. Entretanto, essa conclusão é válida apenas para quando se puder contar com um escoramento eficiente, como neste caso analisado.

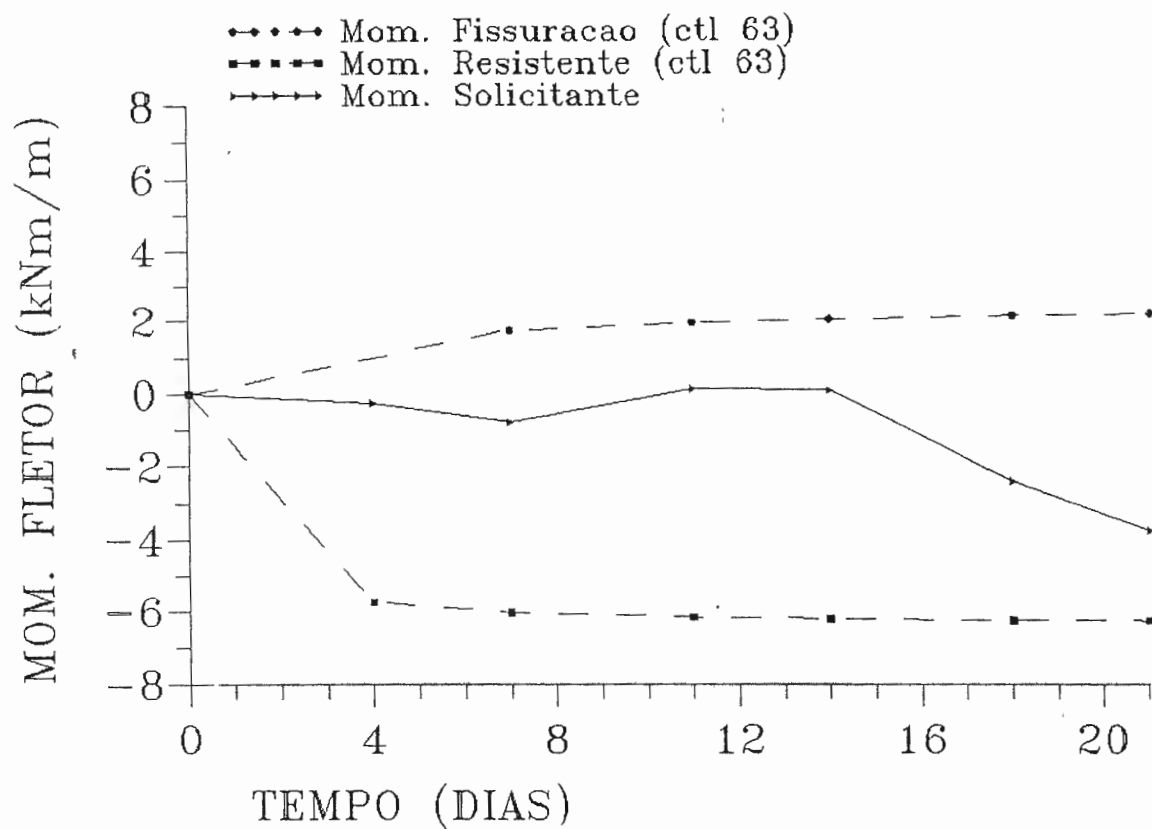
8. CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados observados, pode-se concluir que o processo construtivo acelerado por si só não deve produzir efeitos danosos sobre a estrutura, se um esquema de escoramento eficiente for utilizado. Entretanto, verifica-se também que caso isso não ocorra os riscos para a estrutura passam a ser consideráveis.

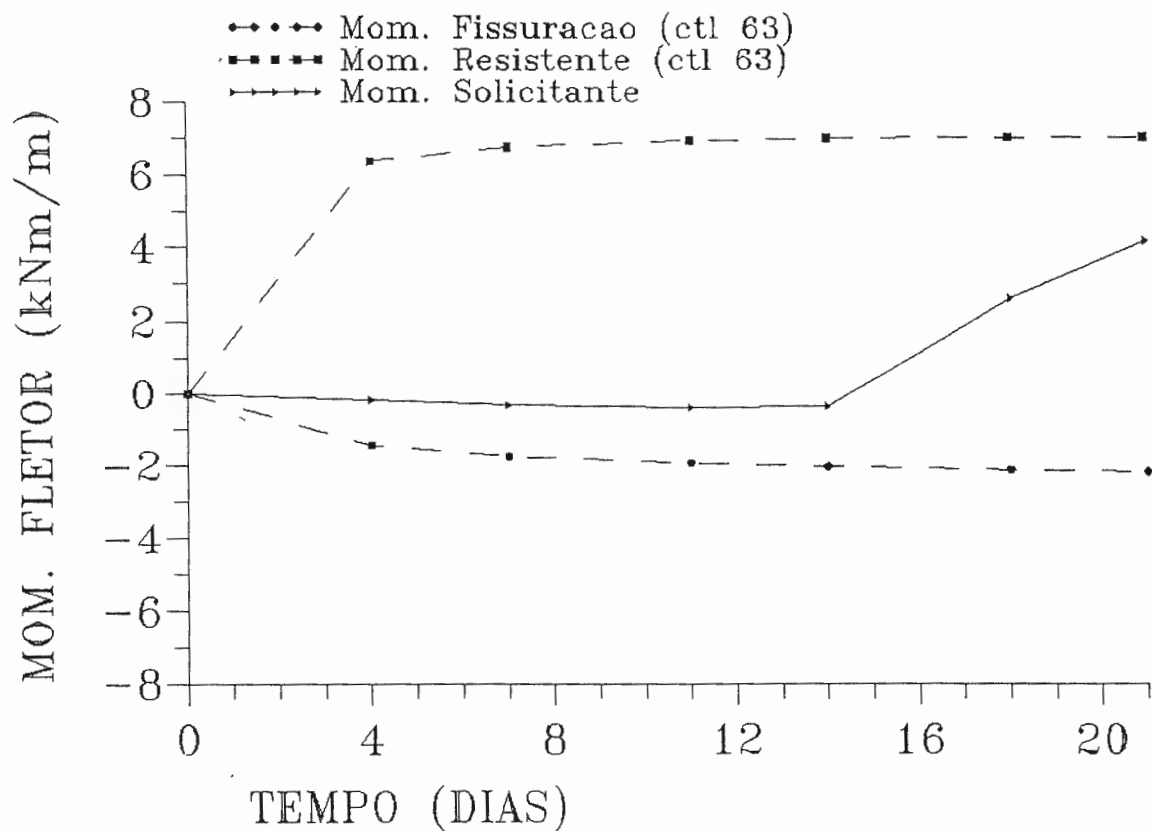
PONTO PL1



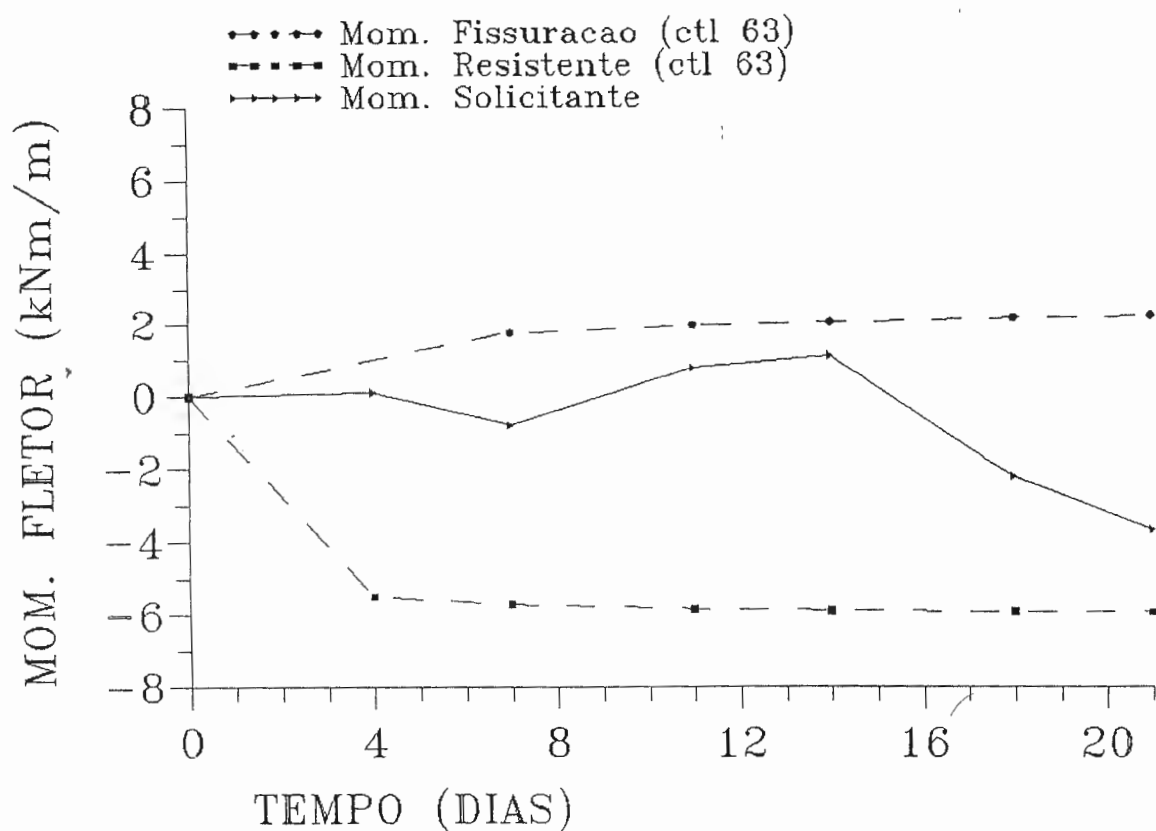
PONTO PL2



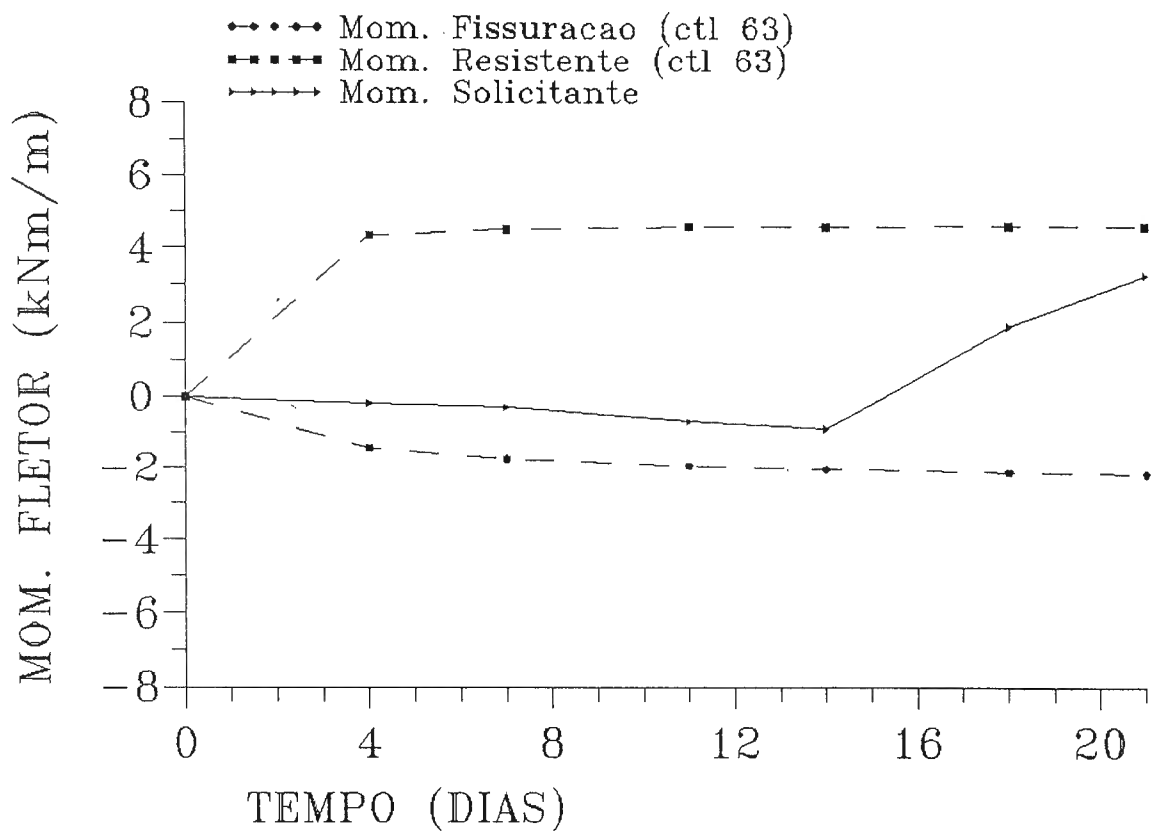
PONTO PL3



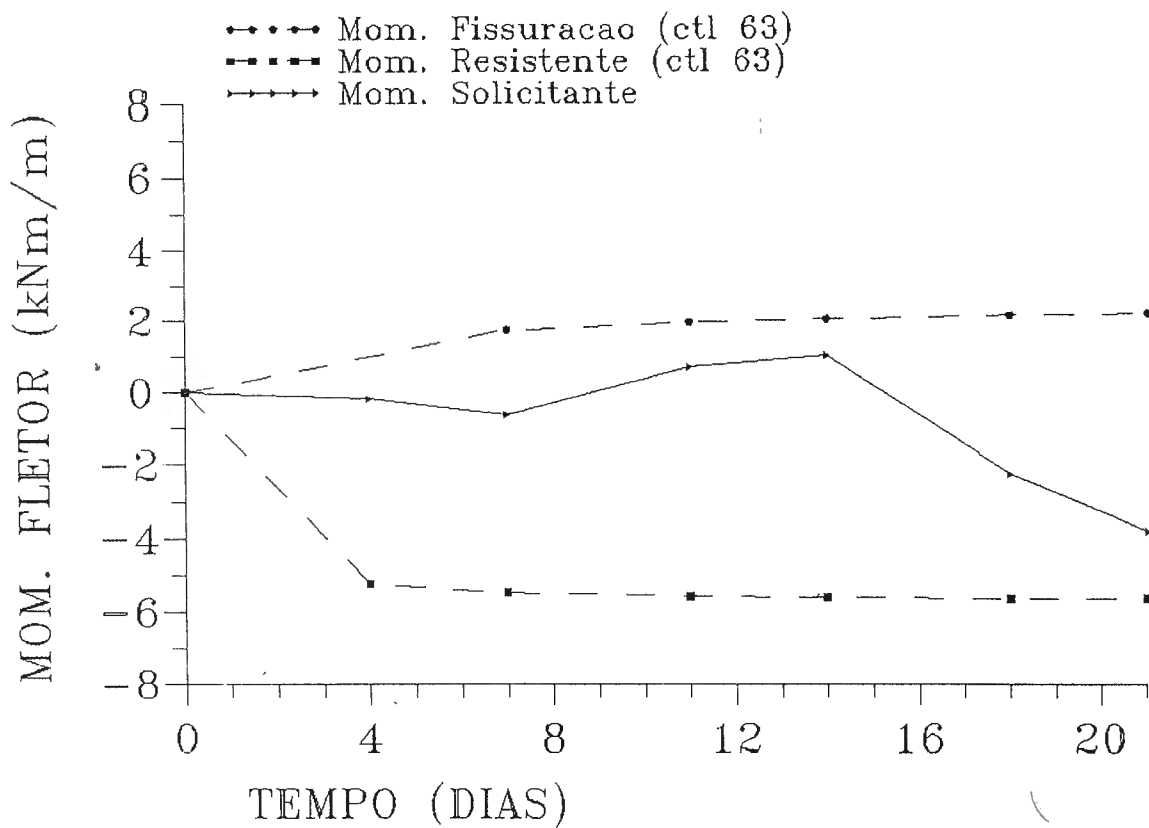
PONTO PL4



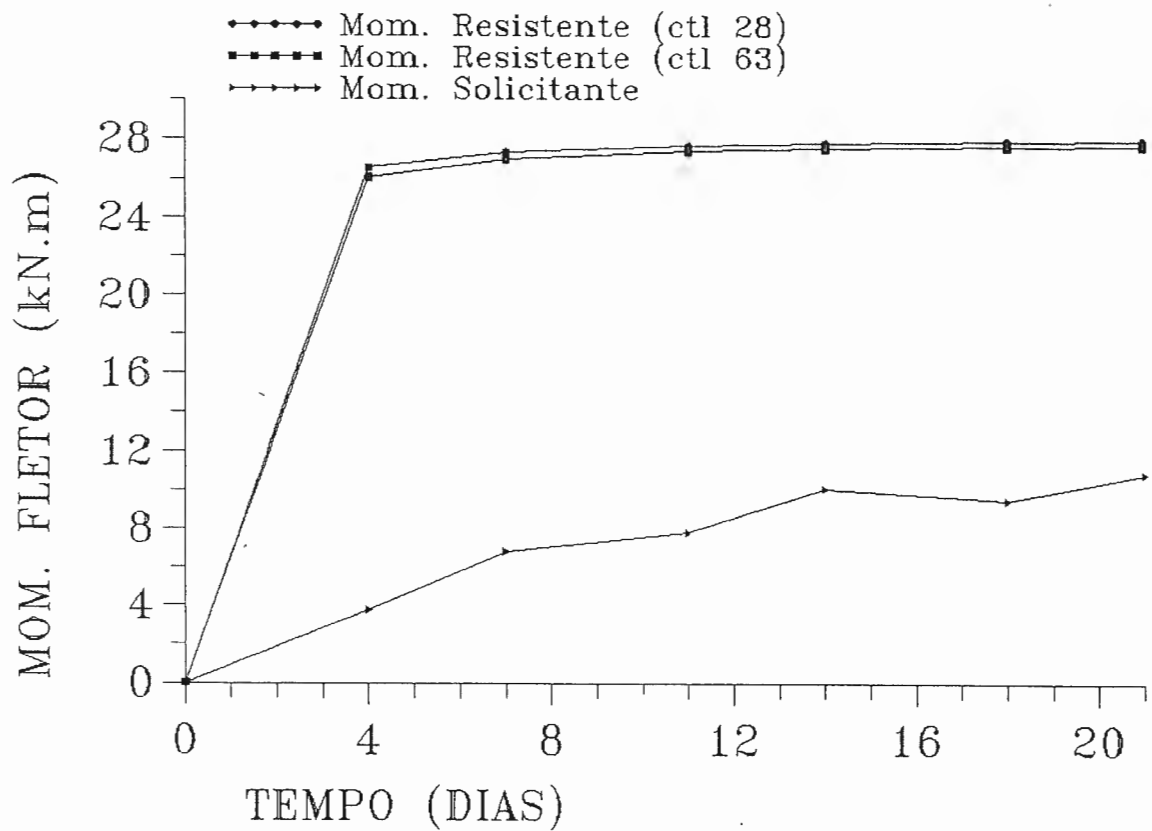
PONTO PL5



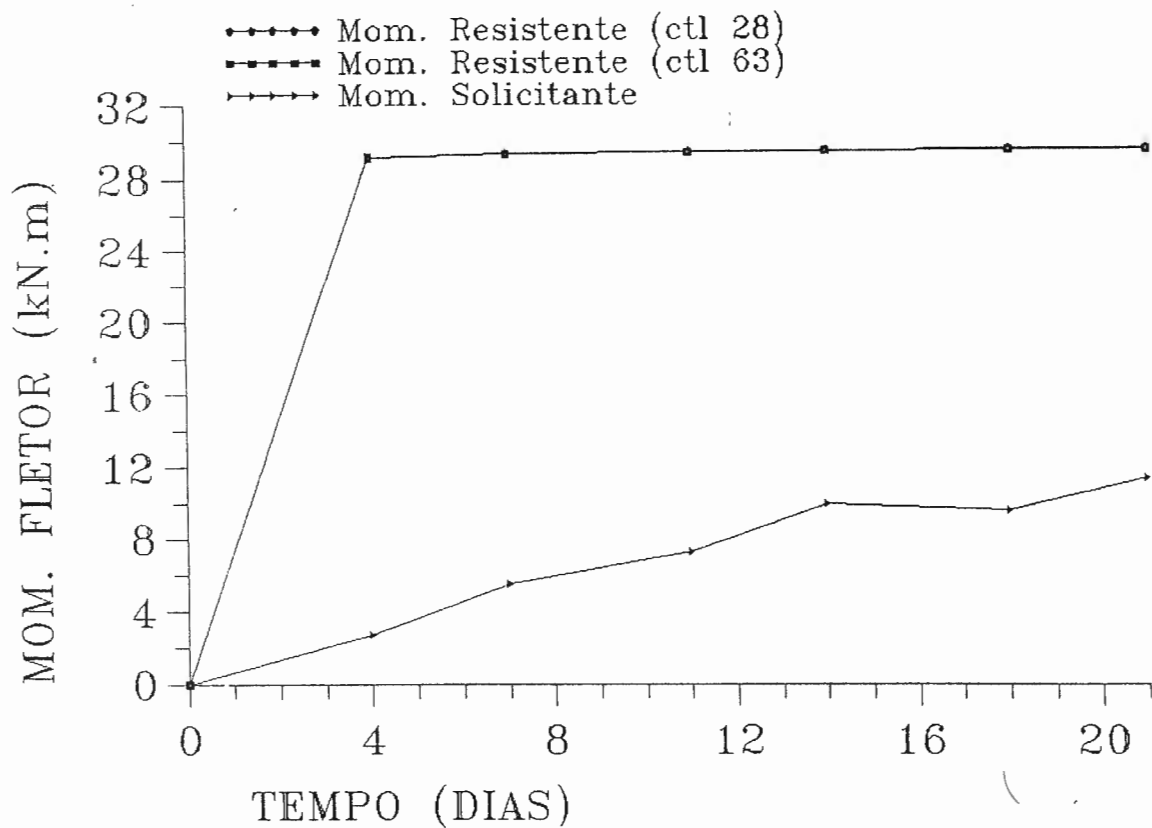
PONTO PL6



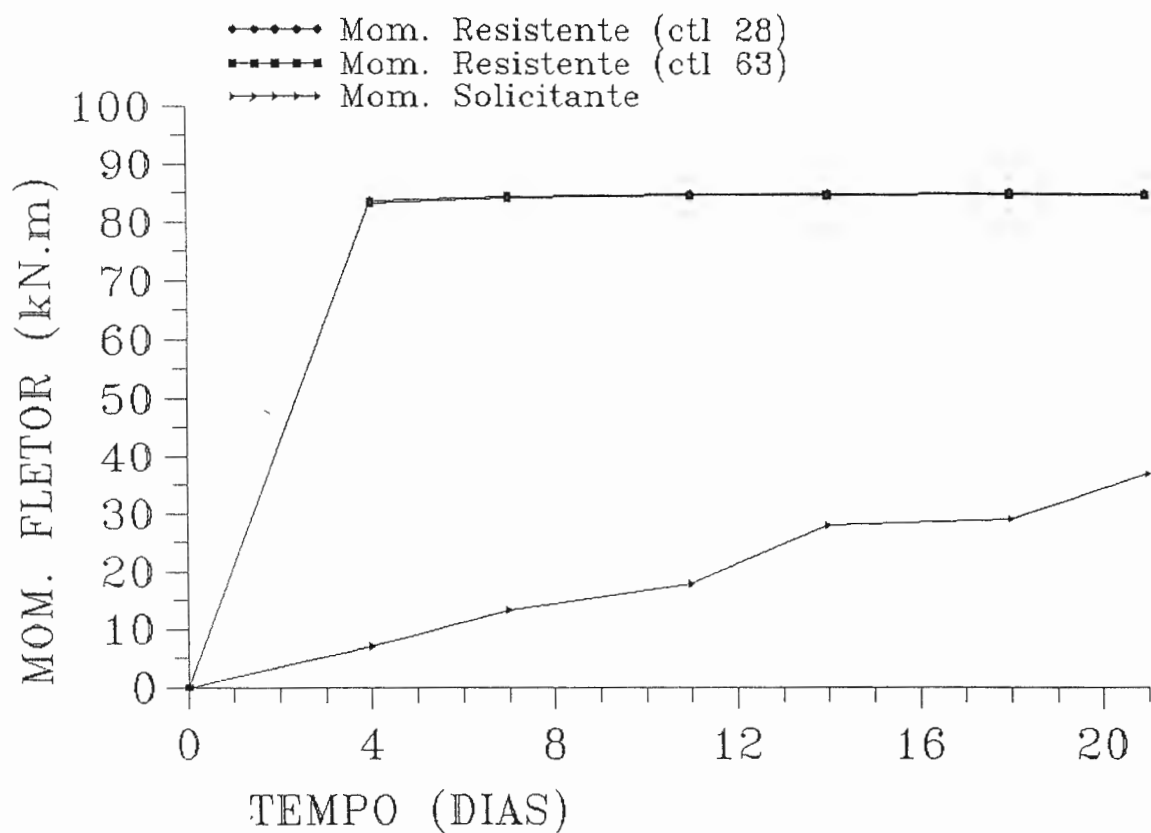
PONTO PV1



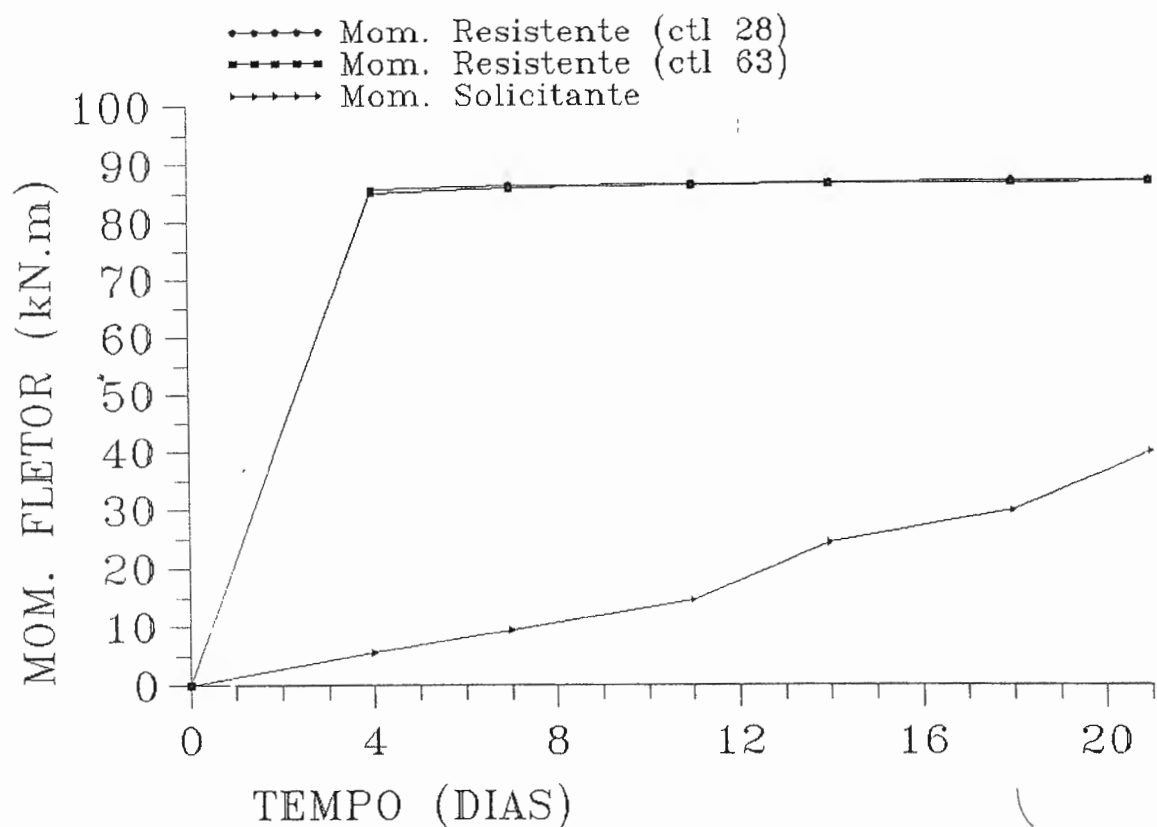
PONTO PV2



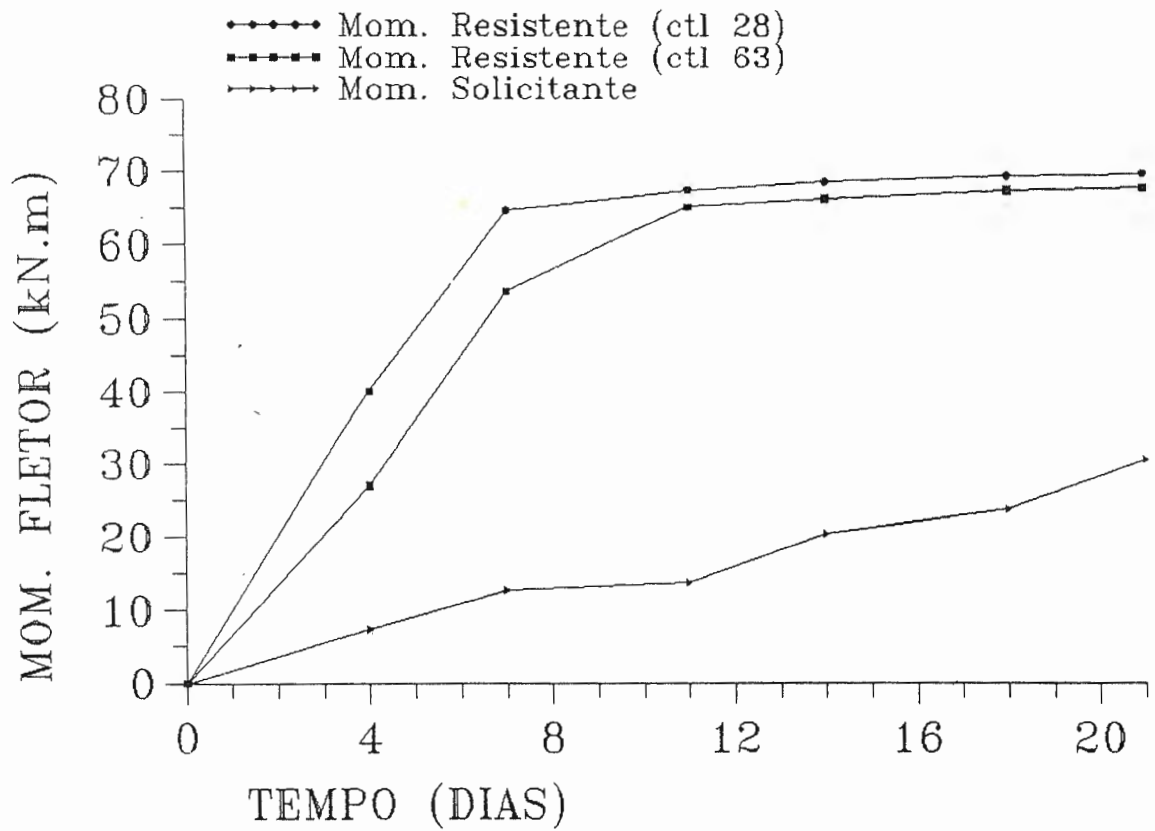
PONTO PV3



PONTO PV4



PONTO PV5



PONTO PV6

