

Ensaio à Compressão de Aparelhos de Apoio com mais de 40 Anos em Serviço, em Verdadeira Grandeza e em Corpos de Prova Reduzidos Conforme Determinado pela NBR-9783/1987

*Carlos Henrique de Paiva Siqueira¹
Ricardo Barboza da Silva²*

Resumo

Este estudo visou elucidar quanto ao resultado de ensaios de compressão simples realizados em aparelhos de apoio de elastômero fretado, em escala natural e em modelo reduzido conforme orientado pela norma Brasileira. Uma vez que para a confecção dos modelos reduzidos é necessário o descarte do perímetro do aparelho original, região esta onde recorrentemente alojam-se as patologias de um aparelho de apoio em elastômero fretado, talvez o resultado destes ensaios fosse falseado.

Para tanto, serviu-se da realização de dois modelos ensaios de compressão simples, um em laboratório para os modelos reduzidos e outro em campo, mediante a construção de aparato especial, para os ensaios em aparelhos de apoio em escala natural.

Os resultados dos ensaios realizados mostrou que os corpos de prova em modelo reduzido tiveram desempenho inferior aos aparelhos de apoio ensaiados em escala natural, aparelhos estes que preservavam toda área degradada de seu perímetro.

Conclusivamente os ensaios realizados com modelos reduzidos agregam segurança aos valores captados e resguardam o aspecto pecuniário, pois o teste em verdadeira grandeza pode ser centenas vezes mais dispendioso que os ensaios em laboratório.

Palavras-chave: Aparelhos de apoio; Normalização brasileira; Ponte Rio-Niterói.

1 Introdução

Este artigo trata dos resultados e conclusões de ensaios de compressão simples em aparelhos de apoio em verdadeira grandeza, em corpos de prova com dimensões regidas por norma. Os aparelhos de apoio utilizados na realização dos ensaios foram extraídos das estruturas da Ponte Rio-Niterói, com 42 anos em serviço, e também resultantes da demolição do Elevado da Avenida Perimetral, com 37 anos em uso.

Oportuno é destacar que em ambas as obras os apoios foram produzidos pela mesma empresa.

2 Aspectos preliminares

Nos primórdios da concessão da Ponte Rio-Niterói, precisamente em 1999, foram trocados 26

aparelhos de apoio fixos em elastômero do Acesso Rio de Janeiro.

A substituição dessas almofadas foi motivo de longas discussões a respeito da necessidade, ou não, da realização desta substituição.

Com o intuito de dirimir dúvidas quanto ao fato de que a troca dos apoios era necessária ou não, deu-se início a uma pesquisa, inédita no mundo na ocasião, visando estabelecer parâmetros técnicos que assegurassem uma tomada de decisão, baseada em dados técnicos experimentais comprobatórios que eliminassem o lado empírico até então usado na resolução da substituição dos apoios. Surgiu, assim, a monitoração dos aparelhos de apoios fixos e deslizantes da Ponte Rio-Niterói, que consistiu no acompanhamento do desempenho de todos os aparelhos de apoio em campanhas anuais onde cada aparelho recebia uma inspeção por ano e quinquenais onde um grupo

1 D. Sc. Professor do Programa de Pós-Graduação do Instituto IDD. carloshsiqueira@yahoo.com.br

2 M. Sc. Consultor Independente. rikardobarboza@yahoo.com.br

determinado de aparelhos, que representavam todos os tipos presentes na obra, recebiam uma inspeção por mês ao longo de um ano. A campanha quinquenal também incluía a exposição da região de engaste bloco/pilar, para a verificação de um possível comprometimento da estrutura em região não exposta.

Essa monitoração durante muitos anos foi respeitada à risca, mantendo o conceito de que os apoios apenas devem ser substituídos quando provocarem vínculos indesejáveis às estruturas por eles suportadas e as que os suportam.

No ano de 2014, entretanto, com a necessidade da troca dos apoios de dois eixos indicados pela monitoração, questionou-se o ensaio de compressão simples estabelecido pela NBR 9783, sob a premissa de que ao ser cortado em pedaço de 20 cm x 20 cm, para possibilitar a realização do ensaio, o apoio poderia apresentar resultado falseado, pois se imaginava que essa medida levaria a se obter cargas muito maiores do que as que o apoio em escala natural poderia suportar, em razão de que nas dimensões normais o esforço também seria aplicado em área visualmente lesionada.

De fato, quando se corta o apoio para o ensaio de compressão simples isto é feito em parte da almofada que não envolve a periferia, onde normalmente se encontra o aspecto visual negativo proporcionado pelas eventuais descontinuidades.

Assim, foi idealizado um ensaio tecnológico para captar o desempenho das almofadas em verdadeira grandeza, quando submetidas a carregamentos compressivos nos patamares de 40 MPa e 60 MPa, conforme preconizado pela NBR 9783. No estágio de 40 MPa o apoio não deve apresentar rasgamento do elastômero, enquanto que no patamar de 60 MPa não deve apresentar descolamento nas interfaces de ligação borracha/metal, tampouco escoamento ou ruptura das chapas de aço.

Antes de se atingir a tensão de 40 MPa seria observado o desempenho do apoio no patamar de 15 MPa, que foi a tensão com a qual foram projetados.

O grande problema a ser superado, inicialmente, seria a falta de equipamento em instituições nacionais que pudessem realizar o teste nos apoios em verdadeira grandeza, principalmente levando em conta as dimensões em planta de 700 mm x 700 mm de um dos aparelhos de apoio. É de se assinalar que as maiores prensas do mundo se encontram no *National Bureau of Standards*, nos Estados Unidos, com capacidade compressiva de 5.400 toneladas, seguida pela existente na *Nippon University*, com 3.000 toneladas.

Por se tratar de um ensaio não normalizado, e tendo em conta, como mencionado, que não existe no Brasil uma prensa com capacidade de impor aos apoios às tensões exigidas na pesquisa, foi concebida uma estrutura especial de reação para acomodar um conjunto

de quatro macacos hidráulicos, cada um com poder de aplicação de força de compressão de 1.000 toneladas, perfazendo, portanto, a carga máxima de 4.000 toneladas, muito superior a força necessária a atingir a tensão de 60 MPa, que é de 2.940 toneladas, relativa a almofadas com dimensões de 700 mm x 700 mm.



Figura 1 – Aparato de reação, construído para esta pesquisa.

Os resultados desta pesquisa serviram para elucidar se existe alguma alteração significativa com os que foram obtidos em laboratório, para as tensões de 40 e 60 MPa.

3 Etapas da pesquisa

Os aparelhos ensaiados têm dimensões conforme indicações:

- 700 mm x 700 mm x 55 mm;
- 700 mm x 230 mm x 55 mm;
- 480 mm x 250 mm x 50 mm.

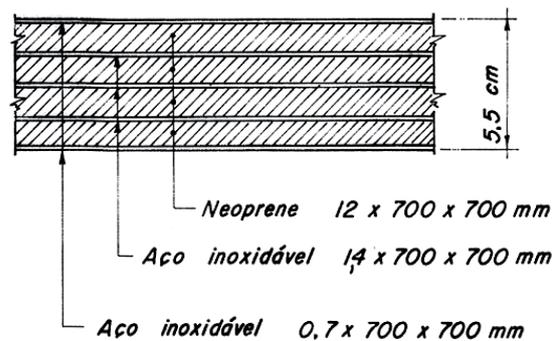


Figura 2 – Ilustração do aparelho de apoio de dimensões: 700 mm x 700 mm x 55 mm.

Não foram informadas previamente as características dimensionais do apoio do Elevado da Avenida Perimetral. Entretanto, como um apoio foi submetido,

também, aos ensaios preconizados pela NBR 9783, o comprimento, a largura, a altura, o número de camadas elementares de elastômero e de chapas fretantes foram conhecidos posteriormente, após a realização desses ensaios em laboratório.

Antes da aplicação da carga nos apoios foram tomadas as seguintes medidas preliminares necessárias a boa condução do ensaio (Figuras 3 e 4):

- a – aferição dos macacos e guarda de suas calibrações, para que se pudesse acompanhar com precisão as etapas de carga a serem aplicadas;
- b – averiguação das condições das bombas hidráulicas;
- c – verificação da sanidade plena da estrutura de reação, na tentativa de evitar qualquer contratempo durante o teste;
- d – observação do estado de cada apoio, principalmente no que concerne às eventuais anomalias existentes;
- e – marcação com giz das anomalias mais relevantes das superfícies laterais dos apoios, para comparação de eventuais alterações durante e após o ensaio;
- f – anotações e registros fotográficos dos sub-ítem anteriores.



Figura 3 – Marcação das anomalias mais relevantes das superfícies laterais do apoio 1.



Figura 4 – Carregamento em 15 MPa, apoio 1. Sem qualquer alteração das anomalias.

A aplicação das forças de compressão nos apoios se deu por incrementos de carga com patamares variando em 5 MPa, que foi a tensão inicial do ensaio. Fundamental é assinalar que os macacos agiram igualmente em todos os apoios, de forma que as forças fossem uniformemente distribuídas em toda a área das almofadas, tanto superior, quanto inferior. Em síntese, foi adotada a sequência de carregamento indicada nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Sequência de carregamento para os aparelhos de 700 mm x 700 mm x 55mm.

CARGA TOTAL (t)	CARGA POR MACACO (tf)	TENSÃO (MPa)
245	61,25	5
490	122,50	10
735	183,75	15
980	245,00	20
1225	306,25	25
1470	367,50	30
1715	428,75	35
1960	490,00	40
2205	551,25	45
2450	612,50	50
2695	673,75	55
2940	735,00	60

Tabela 2 – Sequência de carregamento para os aparelhos de 700 mm x 230 mm x 55mm.

CARGA TOTAL (t)	CARGA POR MACACO (tf)	TENSÃO (MPa)
85	21	5
170	43	10
256	64	15
341	85	20
426	107	25
511	128	30
596	149	35
682	171	40
767	192	45
852	213	50
937	234	55
1.022	256	60

Tabela 3 – Sequência de carregamento para os aparelhos de 480 mm x 250 mm x 50 mm.

CARGA TOTAL (t)	CARGA POR MACACO (tf)	TENSÃO (MPa)
60	15	5
120	30	10
180	45	15
240	60	20
300	75	25
360	90	30
420	105	35
480	120	40
540	135	45
600	150	50
660	165	55
720	180	60

Nos intervalos entre os incrementos de carga sempre era dada uma pausa para que se observasse o estado do apoio em todas as quatro faces laterais, com a finalidade de se detectar em que fase ocorreram as primeiras anomalias decorrentes da aplicação da força, independentemente das que já se encontravam instaladas, ou a variação dessas (Figura 5).



Figura 5 – Deflectômetro instalado entre pratos do equipamento, para medir os encurtamentos dos apoios por ocasião dos incrementos de carga.

Nos estágios de carregamento correspondentes a 15, 40 e 60 MPa, especialmente, os apoios foram minuciosamente averiguados quanto ao seu estado físico (Figura 6).

Relógios comparadores foram instalados na parte inferior dos aparelhos de apoio durante os ensaios, como forma de averiguar a flexa vertical correspon-

dente a cada estágio de carregamento. A aplicação gradativa das cargas foi controlada mediante a instalação de manômetros acoplados à bomba hidráulica de pressão.



Figura 6 – Aparência do apoio 1, após ensaio de compressão simples.

4 Ensaios de Campo com Apoios Substituídos

Os ensaios de campo foram realizados em canteiro, onde foi preparada a fundação para suportar os esforços emanados da prensa especialmente fabricada para tal finalidade (Figura 7).



Figura 7 – Fundação para suporte do aparato de reação.

Foram submetidos a ensaio de compressão simples, nos patamares de carga indicados no capítulo anterior, seis almofadas em elastômero fretado, sendo duas de dimensões 700 mm x 700 mm x 55 mm (Ponte Rio-Niterói), duas de dimensões 700 mm x 230 mm x 55 mm (Ponte Rio-Niterói) e uma de dimensão 480 mm x 250 mm x 50 mm do Elevado da Avenida Perimetral.

Os ensaios de campo em verdadeira grandeza foram realizados nos dias 11 e 12 de novembro, e 10 de dezembro, de 2014. Em todas as ocasiões foram

necessários os períodos matinal e vespertino para as suas execuções plenas.

Nos apoios com dimensões menores, isto é, os de dimensões 700 mm x 230 mm x 55 mm e 480 mm x 250 mm x 50 mm, o aparato de aplicação do carregamento funcionou sem qualquer inconveniente. Todavia, quando da execução dos ensaios nos apoios maiores, ou seja, nos apoios 700 mm x 700 mm x 55 mm, a prensa mostrou-se instável na introdução de tensões mais elevadas, evidenciado por deformação do prato superior, o que ensejou a paralisação do ensaio e o reforço de todo o conjunto reativo. Esse foi o motivo que levou a defasagem entre as datas dos ensaios.

Qualquer ensaio de carga implica em risco para aqueles que o executam, e para os que fazem as devidas medições nos estágios de cada tensão aplicada. Em decorrência, os devidos cuidados sempre foram tomados por todos os participantes, que apenas se aproximavam do conjunto ensaiado por ocasião da manutenção da força inserida, e nunca durante a progressão do carregamento.

Na ordem sequencial foram testados os seguintes apoios:

- dia 12/11/2014: dois apoios de 700 mm x 230 mm x 55 mm (Ponte Rio-Niterói) e um apoio de 480 mm x 250 mm x 50 mm (Elevado da Avenida Perimetral);
- dia 10/12/2014: dois apoios de 700 mm x 700 mm x 55 mm (Ponte Rio-Niterói).

No dia 11 de novembro de 2014 foram realizadas as primeiras verificações de todo o conjunto de carga, como forma de avaliar o funcionamento do equipamento e seus acessórios.

Resta destacar que as visualizações do estado dos apoios nos diversos patamares de carregamento foram muito difíceis, dada à redução das alturas das almofadas, o que foi um empecilho a melhor observação das anomalias que despontavam com a

sequência evolutiva das cargas. Foi necessária uma participação muito cautelosa da equipe dos testes, na busca por alterações do estado físico das almofadas de policloropreno.

5 Resultados dos Ensaio de Campo

Os resultados dos testes realizados em campo, com aparelhos de apoio em escala natural, são adiante apresentados (Figura 8, Tabelas 4 e 5).

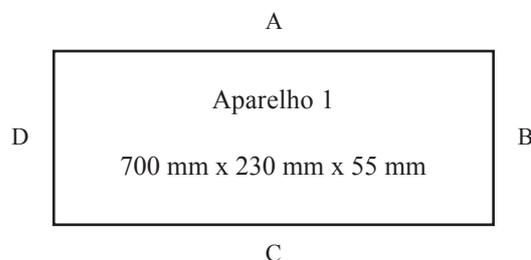


Figura 8 – Croquis do aparelho de apoio 1 – 700 mm x 230 mm x 55 mm (ponte Rio-Niterói).

• Estado original do apoio:

- o duas regiões (9,00 cm e 20,50 cm) com bojamento e fissura generalizada, na face C (Figura 9).

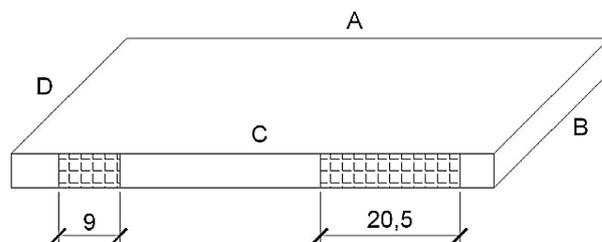


Figura 9 – Aparado de apoio 1 – 700 mm x 230 mm x 55 mm, antes do teste de carga.

Tabela 4 – Medidas do aparelho de apoio 1.

LADO	ANTES (cm)	DEPOIS (cm)	VARIAÇÃO (cm)	VARIAÇÃO (%)
A	71,70	72,20	+ 0,50	+ 0,70
B	23,80	24,00	+ 0,20	+ 0,84
C	71,80	72,40	+ 0,60	+ 0,84
D	23,90	24,20	+ 0,30	+ 1,25
ALTURA	5,21*	5,04**	- 0,17	- 3,26

* $(5,20 + 5,24 + 5,19 + 5,20) / 4 = 5,2075 \cong 5,21$ cm

** $(5,144 + 4,990 + 5,075 + 4,945) / 4 = 5,0385 \cong 5,04$ cm

Tabela 5 – Acompanhamento do ensaio do Aparelho de Apoio 1.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO	LEITURA DO ALONGÂMETRO (mm)
5	Situação original não alterada	–
10	Situação original não alterada	–
15	Situação original não alterada	28,58
20	O bojamento de 20,5 cm se acentuou sem avançar horizontalmente.	25,05
25	O bojamento de 9,00 cm se acentuou sem avançar horizontalmente.	22,89
30	Bojamentos em todo o apoio (trabalho normal).	19,95
35	Situação anterior não alterada	14,10
40	Novo bojamento entre os dois já existentes, sem rompimento.	11,70
45	Situação anterior não alterada	6,50
48	Rompimento vertical na mesma face dos bojamentos originais.	5,70

• Estado original do apoio após alívio do carregamento (novas lesões):

- o rompimento vertical de 3,50 cm na face C;
- o bojamento de 9,00 cm na face A (Figura 10).

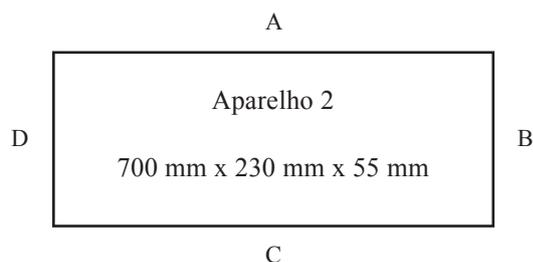


Figura 10 – Croquis do aparelho de apoio 2 – 700 mm x 230 mm x 55 mm (ponte Rio-Niterói).

• Estado original do apoio:

- o bojamento com fissura generalizada em 17,30 cm na face C (Figura 11).

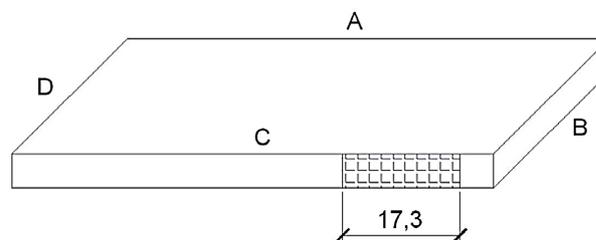


Figura 11 – Aparelho de apoio 2 – 700 mm x 230 mm x 55 mm, antes do teste de carga.

As Tabelas 6 e 7 mostram os resultados obtidos para o aparelho de apoio 2.

Tabela 6 – Medidas do aparelho de apoio 2.

LADO	ANTES (cm)	DEPOIS (cm)	VARIAÇÃO (cm)	VARIAÇÃO (%)
A	71,40	71,50	+ 0,10	+ 0,14
B	23,50	23,50	-	-
C	71,40	71,60	+ 0,20	+ 0,28
D	23,50	23,60	+ 0,10	+ 0,42
ALTURA	5,17*	4,91**	- 0,26	- 5,29

* $(5,19 + 5,13 + 5,15 + 5,20) / 4 = 5,1675 \cong 5,17$ cm

** $(47,79 + 49,07 + 49,93 + 49,50) / 4 = 4,90725 \cong 4,91$ cm

Tabela 7 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 2.

MPa	REAÇÃO DO APOIO	LEITURA DO ALONGÂMETRO (mm)
5	Situação original não alterada	34,92
10	Situação original não alterada	31,77
15	O bojamento na face C se acentuou sem avançar horizontalmente. Bojamentos em toda a face C (trabalho normal do apoio)	26,99
20	Situação anterior não alterada	23,25
25	Situação anterior não alterada	19,74
30	Os bojamentos inferiores da face C se acentuaram.	16,24
35	Situação anterior não alterada	12,50
40	Situação anterior não alterada	8,80
45	Rasgamento da anomalia já existente (face C). Bojamentos nas faces B e D (trabalho normal do apoio).	5,45
50	Situação anterior não alterada	1,85

• **Estado original do apoio:**

- o rasgamento de 14,60 cm sobre a anomalia já existente na face C (Figura 12);
- o rasgamentos de 3,90 cm e 2,00 cm no centro da face C.

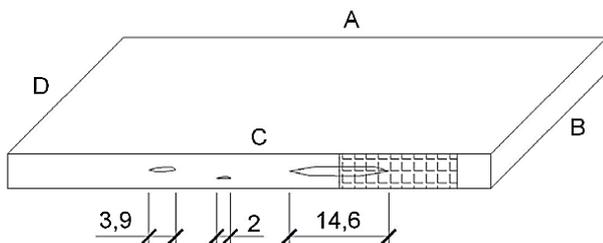


Figura 12 – Aparelho de apoio 2 – 700 mm x 230 mm x 55 mm, rasgamentos na face C após o teste de carga.

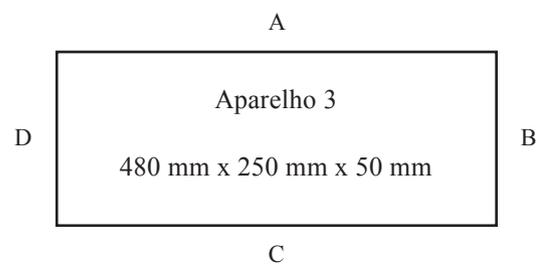


Figura 13 – Croquis do aparelho de apoio 3 – 480 mm x 250 mm x 50 mm (Elevado Av. Perimetral).

• **Estado original do apoio:**

- o sem anomalias

As Tabelas 8 e 9 mostram os resultados obtidos para o aparelho de apoio 2.

Tabela 8 – Medidas do aparelho de apoio 3.

LADO	ANTES (cm)	DEPOIS (cm)	VARIAÇÃO (cm)	VARIAÇÃO (%)
A	48,50	49,40	+ 0,90	+ 1,86
B	25,50	26,40	+ 0,90	+ 3,51
C	48,40	49,70	+ 1,30	+ 2,69
D	25,10	25,90	+ 0,80	+ 3,19
ALTURA	4,14*	3,94**	- 0,50	- 4,83

* $(4,207 + 4,284 + 4,015 + 4,051) / 4 = 4,13925 \cong 4,14$ cm

** $(4,051 + 3,828 + 4,010 + 3,870) / 4 = 3,93975 \cong 3,94$ cm

Tabela 9 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 3.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO	LEITURA DO ALONGÂMETRO (mm)
5	Situação original	8,39
10	Situação original	–
15	Situação original	14,42
20	Situação original	17,98
25	Bojamento em todas as faces (trabalho normal do apoio)	22,10
30	Situação anterior não alterada	25,09
35	Situação anterior não alterada	27,57
40	Situação anterior não alterada	30,35
55	Situação anterior não alterada	–
60	Situação anterior não alterada	–

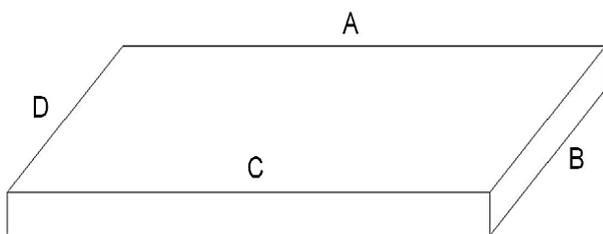


Figura 14 – Aparelho de apoio 3 – 480 mm x 250 mm x 50 mm, antes do teste de carga.

• **Estado original do apoio:**

- o sem anomalias

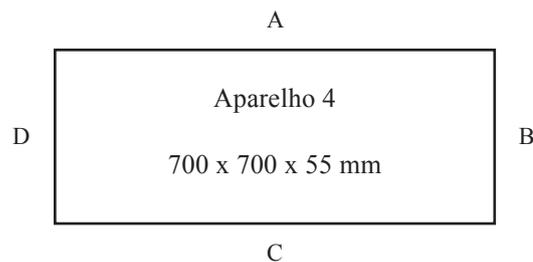


Figura 15 – Croquis do aparelho de apoio 4 – 700 mm x 700 mm x 55 mm (ponte Rio-Niterói).

• **Estado original do apoio:**

- o fissuras de 13,5 cm, 6,5 cm, 16,5 cm e 5 cm na face A.
- o encontros entre faces A/B, B/C e C/D com rompimentos.

Tabela 10 – Medidas do aparelho de apoio 4.

LADO	ANTES (cm)	DEPOIS (cm)	VARIAÇÃO (cm)	VARIAÇÃO (%)
A	70,90	71,00	+ 0,10	+ 0,14
B	70,40	71,00	+ 0,60	+ 0,85
C	71,90	72,50	+ 0,60	+ 0,83
D	71,00	71,70	+ 0,70	+ 0,99
ALTURA	5,23*	5,09**	- 0,14	- 2,68

* $(5,123 + 5,240 + 5,025 + 5,547) / 4 = 5,23375 \cong 5,23$ cm

** $(4,926 + 5,050 + 4,869 + 5,510) / 4 = 5,08875 \cong 5,09$ cm

Tabela 11 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 4.

TENSÃO APLICADA	REAÇÃO DO APOIO	LEITURA DO ALONGÂMETRO (mm)
5	Situação original não alterada	55,26
10	Situação original não alterada	51,19
15	Situação original não alterada	47,89
20	As fissuras na face A se acentuaram.	44,82
25	As fissuras na face A se acentuaram. Fissuras na face B	41,68
30	Situação anterior não alterada	39,10
35	As fissuras na face A se acentuaram.	36,11
40	As fissuras na face A se acentuaram.	33,56

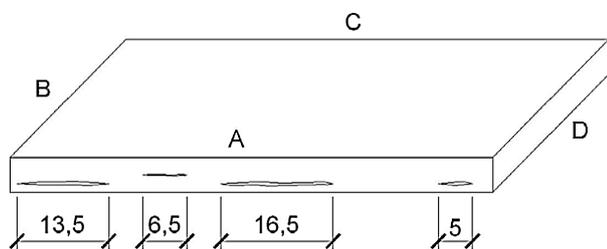


Figura 16 – Aparelho de apoio 4 – 700 mm x 700 mm x 55 mm, antes do teste de carga.

• Estado do apoio após alívio do carregamento:

- o fissuras de 18,5 cm, 7,00 cm, 17,00 cm e 5,00 cm na face A.
- o fissura generalizada na face B.

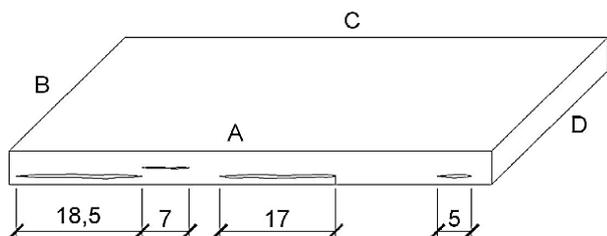


Figura 17 – Aparelho de apoio 4 – 700 mm x 700 mm x 55 mm, após o teste de carga.

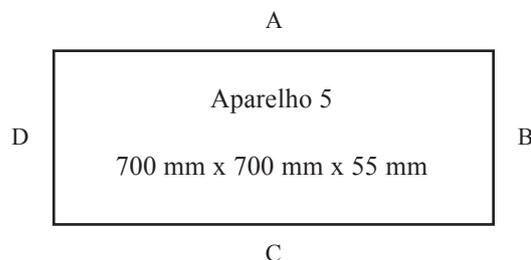


Figura 18 – Croquis do aparelho de apoio 5 – 700 mm x 700 mm x 55 mm (ponte Rio-Niterói).

• Estado original do apoio:

- o sebojamento natural na face A.
- o rasgamento vertical na face B.

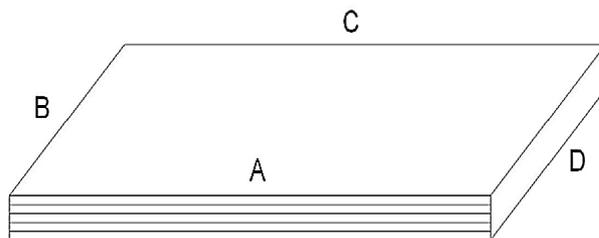


Figura 19 – Aparelho de apoio 5 – 700 mm x 700 mm x 55 mm, antes do teste de carga (face A).

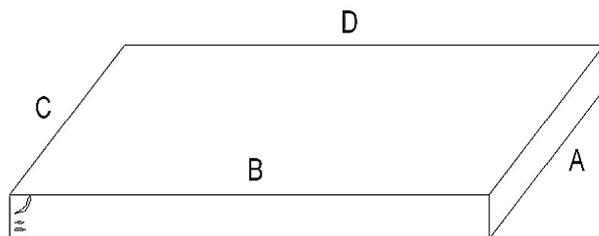


Figura 20 – Aparelho de apoio 5 – 700 mm x 700 mm x 55 mm, antes do teste de carga (face B).

Tabela 12 – Medidas do aparelho de apoio 5.

LADO	ANTES (cm)	DEPOIS (cm)	VARIAÇÃO (cm)	VARIAÇÃO (%)
A	71,40	72,00	+ 0,60	+ 0,84
B	71,40	72,00	+ 0,60	+ 0,84
C	72,00	72,20	+ 0,20	+ 0,28
D	70,50	71,80	+ 1,30	+ 1,84
ALTURA	5,88*	6,04**	+ 0,16	+ 2,72

* $(5,974 + 5,528 + 6,141 + 5,895) / 4 = 5,8845 \cong 5,88$ cm

** $(5,763 + 5,568 + 7,160 + 5,684) / 4 = 6,04375 \cong 6,04$ cm

Obs.: a altura aumentou por conta do rompimento da chapa fretante.

Tabela 13 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 5.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO	LEITURA DO ALONGÂMETRO (mm)
5	Situação original não alterada	50,73
10	Situação original não alterada	45,27
15	O bojamento na face A acentuou-se; O rasgamento vertical na face B acentuou-se.	42,75
20	As anomalias continuaram a se desenvolver; Na face B o aparelho começou a bojar e a apresentar fissuras generalizadas. A parte inferior começou a suspender por conta do bojamento.	38,40
25	As anomalias estabilizaram-se; O bojamento da face B progrediu.	34,88
30	O bojamento da face B progrediu.	30,15
35	Todas as anomalias estabilizaram-se.	27,22
40	Os bojamentos da face B progrediram; Surgiu uma fissura na face A.	21,79
45	Surgimento de fissura de extensão igual à metade da face B; A fissura da face A foi ampliada.	16,93
50	Bojamento das faces C e D com levantamento da parte inferior; Os bojamentos acentuaram-se nas faces A e B; Rompimento de chapa fretante.	11,99

• **Estado do apoio após alívio do carregamento:**

- o rompimento da chapa fretante e deformação do aparelho na face B;
- o as fissuras que ocorreram na face A não puderam ser verificadas após o alívio das cargas.

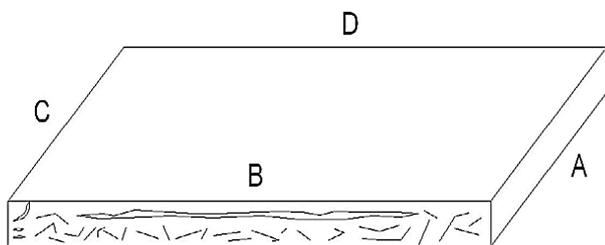


Figura 21 – Aparelho de apoio 5 – 700 mm x 700 mm x 55 mm, após o teste de carga. Rompimento da chapa fretante e aparelho deformado.

6 Análise dos Resultados dos Ensaios de Campo

A análise dos resultados dos ensaios de campo com os apoios em uso há 42 anos, caso da Ponte Rio-Niterói, e 37 anos, caso do Elevado da Avenida Perimetral, foi vista sob três ópticas: estágio de carregamento com 15 MPa, com 40 MPa e com o excedente desta tensão. Contudo, fundamentalmente, o magnitude de tensão de 15 MPa é determinante para que se estabeleça a segurança da almofada em serviço, tendo em conta que essa foi a tensão estabelecida nas premissas de projeto para as almofadas da Ponte Rio-Niterói.

Com respeito ao aparelho de apoio 3, oriundo do Elevado da Avenida Perimetral, não foi verificada nenhuma alteração física, pois o ensaio mostrou que o comportamento da almofada foi sem lesões durante todo o seu decorrer. Ressalta-se que o apoio não continha qualquer anomalia antes de ser aplicado carregamento.

Em relação ao aparelho de apoio 1, foi verificado que ele resistiu sem qualquer contratempo a tensão de 15 MPa, portanto, mesmo com 42 anos em uso, ainda foi capaz de suportar a solicitação para o qual foi concebido. Dessa fase até 45 MPa o desempenho do apoio foi normal, pois os acréscimos dos bojamentos já existentes e o surgimento de novos não configuram descontinuidades estruturais da almofada, mas somente seu trabalho normal. No patamar de carga de 48 MPa ocorreu o rompimento vertical localizado do apoio, mas não o seu esmagamento. Conclui-se que o apoio resistiu até três vezes a carga para o qual foi dimensionado, com mais de quatro décadas em serviço.

Quanto ao aparelho de apoio 2, verificou-se que o seu desempenho foi sem qualquer alteração do estado inicial até 10 MPa. De 15 a 40 MPa houve incrementos dos bojamentos já existentes, que se traduzem pela ação normal do apoio em serviço. No estágio de 45 MPa ocorreu o rasgamento de uma anomalia já existente, mas não o esmagamento da almofada. Conclui-se que para as condições normais de ação na estrutura,

o apoio se mostrou capacitado a atender a tensão de cálculo usada em seu dimensionamento.

Referente ao aparelho de apoio 4 percebeu-se que este já se encontrava com algumas lesões antes da aplicação de qualquer carregamento. Até a fase de 15 MPa todas as anomalias se mantiveram com as mesmas dimensões. A partir daí e até 40 MPa as lesões tiveram acréscimos de comprimento, mas não impuseram esmagamento ao apoio. Desses fatos, conclui-se que a almofada mostrou capacidade portante para a carga que foi concebida.

No ensaio do aparelho de apoio cinco notou-se que antes mesmo de qualquer incidência de carga o mesmo já apresentava defeitos e não exibiu qualquer alteração até o patamar de 10 MPa. Com 15 MPa, tensão admitida no seu dimensionamento, as anomalias existentes ampliaram-se, mas não surgiram novas lesões. Com 20 MPa ocorreu um estado de fissuração generalizada. Entre 25 e 45 MPa novas lesões se manifestaram, mas sem rompimento da almofada. Com 50 MPa ocorreu o rompimento de uma chapa fretante. Com esse perfil de desempenho o apoio resistiu à carga de projeto, embora a sua situação física tenha sido alterada.

O rompimento de uma chapa fretante não causou surpresa, uma vez que a sua espessura era de somente 0,7 mm e a NBR 9783/1987 exige o mínimo de 2,00 mm de espessura para chapas fretantes.

7 Ensaio em Laboratório com Apoios Substituídos

Os ensaios em laboratório realizados com os apoios extraídos da ponte Rio-Niterói e do Elevado da Avenida Perimetral foram, para se ter conhecimento dos seus comportamentos quando submetidos a carregamentos compressivos de 15, 40, e 60 MPa, de maneira a possibilitar a comparação com os dados captados nos ensaios de campo. O motivo gerador desta pesquisa foi averiguar se corpos de prova com dimensões reduzidas, extraídos de apoios em verdadeira grandeza, apresentam dados superiores aos que são obtidos com o ensaio de almofadas com dimensões originais. Assim, não foram tratados outros resultados constantes dos laudos desses ensaios além da compressão simples.

É muito importante que se tenha em mente o fato de que os ensaios constantes da NBR 9783/1987 são executados como forma de avaliar a qualidade de aparelhos de apoio novos, ou seja, são ensaios para recebimento de almofadas recém produzidas. O uso dessa especificação para controle de apoios em serviço, como indicador da qualidade direta do material,

não procede. O que é possível levar em conta são, somente, os indicadores numéricos como fatores referenciais, mas nada que implique na obrigatoriedade de se atingir os dados ali exigidos com apoios que já

foram solicitados em serviço.

Os seguintes resultados foram obtidos nos ensaios de compressão simples com os aparelhos de apoio substituídos, constam das Tabelas 14 a 18.

Tabela 14 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 6.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO
15	Sem anomalias
40	Sem anomalias
60	Rasgamento do elastômero e descolamento entre a interface aço/borracha

Tabela 15 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 7.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO
15	Ampliação do rasgamento do elastômero e do descolamento entre aço/metal
30	Agravamento da situação anterior
40	Agravamento da situação anterior
60	Agravamento da situação anterior

Tabela 16 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 8.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO
15	Ampliação do rasgamento do elastômero e do descolamento entre aço/metal
30	Agravamento da situação anterior
40	Agravamento da situação anterior
60	Agravamento da situação anterior

Tabela 17 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 9.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO
15	Ampliação do rasgamento do elastômero e do descolamento entre aço/metal
30	Agravamento da situação anterior
40	Agravamento da situação anterior, com destruição de camadas de elastômero
60	Agravamento da situação anterior, com destruição de camadas de elastômero

Tabela 18 – Acompanhamento do ensaio do aparelho de apoio 10.

TENSÃO MPa	REAÇÃO DO APOIO
15	Ampliação do rasgamento do elastômero e do descolamento entre aço/metal
30	Agravamento da situação anterior
40	Agravamento da situação anterior, com ruptura de chapa fretante
60	Agravamento da situação anterior, com destruição de camadas de elastômero

8 Análise dos Resultados dos Ensaio em Laboratório

O único aparelho de apoio que foi submetido aos ensaios de compressão simples, e que não continha qualquer anomalia decorrente do tempo em uso, foi aparelho de apoio 6 (Elevado da Avenida Perimetral). Portanto, conclui-se que devido a esse fato tenha sido, excepcionalmente, aquele que melhor se comportou durante os distintos estágios de carga.

No entanto, para a tensão de 60 MPa foi observado rasgamento do elastômero e descolamento entre a interface aço/borracha, lesões que não foram vistas nos cumes de 15 e 30 MPa. Assim, observou-se que o desempenho do apoio no ensaio com corpos de prova menores, extraídos de apoios em serviço, foi pior, por conta de que em verdadeira grandeza não ocorreram descontinuidades, mas tão apenas os bojamentos comuns advindos das solicitações impostas. Nesse caso, portanto, os aparelhos ensaiados em verdadeira grandeza apresentaram resultados superiores aos corpos de prova menores.

Nos aparelhos de apoio 7 e 8, que já apresentavam uma série de anomalias antes de serem submetidos ao ensaio de compressão normal, foram detectadas progressões dos defeitos logo no estágio de tensão correspondente a 15 MPa, seguindo-se a mesma diretriz nas fases subseqüentes de 30, 40 e 60 MPa. Portanto, também aqui, verificou-se que o comportamento do corpo de prova reduzido foi mais degradante que os dos apoios em escala natural, que suportaram tensões de 15 MPa sem qualquer inconveniente, caso do apoio 1, e apresentou ampliação dos defeitos pré-existentes nessa fase, mas sem provocar o rasgamento da almofada, caso do apoio 2. Verificou-se novamente que os aparelhos ensaiados em verdadeira grandeza apresentaram resultados superiores aos corpos de prova menores.

No tocante aos apoios maiores extraídos da ponte Rio-Niterói, que também continham lesões variadas decorrentes dos seus 42 anos em trabalho na estrutura, o comportamento dos corpos de prova em

escala reduzida foi inferior, se comparado ao desempenho das almofadas submetidas à compressão normal em dimensões naturais.

Enquanto as almofadas em verdadeira grandeza suportaram até 15 MPa sem qualquer alteração do seu estado físico original, caso do apoio 4, e 10 MPa com ampliação das descontinuidades, caso do apoio 5, nos corpos de prova menores já se observavam perda de adesão borracha/metal com 15 MPa, além do agravamento do rasgamento do elastômero. Mais uma vez confirma-se que o desempenho dos apoios em dimensões naturais foi superior ao daqueles em corpos de prova menores.



Figura 22 – Ensaio de compressão simples em laboratório, apoio 8.

9 Conclusões

Para se compreender e ter ciência mais aprofundada sobre apoios em elastômero é preciso que estudos exaustivos sobre a sua fabricação, seus componentes químicos, como funcionam as chapas fretantes, as curvas reométricas de vulcanização, os devidos ensaios de qualidade, incluindo-se o ensaio de compressão com força horizontal, seus posicionamentos na obra, enfim, uma série de detalhes sejam

levados em conta, possibilitando elucidar com mais clareza toda a estrutura de uma almofada elástica em policloropreno.

O problema maior é quanto ao momento em que o apoio deve ser retirado da estrutura para a colocação de um apoio novo. Na Ponte Rio-Niterói, esta incerteza foi sanada com a monitoração de 88 almofadas em serviço desde a época construtiva, portanto com mais de 42 anos. Estudos teóricos e experimentais, conforme mencionados no item 2, geraram essa monitoração e vêm até então servindo de orientação para evitar as discordâncias quanto a necessidade da troca ou não dos aparelhos de apoio. Isso tem funcionado, não havendo qualquer estrutura de concreto lesionada por mau funcionamento de almofadas elásticas.

Quando questionou-se sobre o ensaio de compressão normal em corpo de prova extraído de apoios originais, como manda a norma NBR 9783/1987, o motivo, como dito em parágrafos anteriores, era de que isso poderia provocar distorções nos resultados, favoravelmente a essa amostra, uma vez que ela não comportaria, em princípio, as lesões que ocorrem na periferia das almofadas.

Entretanto, os resultados desta pesquisa revelaram que, todos os aparelhos de apoio em tamanho natural, testados à compressão simples, exibiram melhor desempenho do que os corpos de prova em escala

reduzida. Assim, não há motivo para se contestar o que indica a NBR 9783/1987, pois em se realizando os ensaios em corpos de prova menores agrega-se segurança aos valores captados.

Por fim, observa-se que o ensaio à compressão simples em corpos de prova menores, extraídos de apoios em dimensões naturais, resguarda o aspecto pecuniário, pois o teste em verdadeira grandeza pode ser muitíssimo mais dispendioso.

10 Referências

- PFEIL, WALTER. **Ponte Presidente Costa e Silva, Rio-Niterói: métodos construtivos**, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, Brasil, 1975.
- NBR 9783 – **Aparelhos de apoio de elastômero fretado**, Rio de Janeiro, Brasil, 1987.
- NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto** – procedimento, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- NEOPREX INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Catálogo Técnico**, São Paulo, Brasil, 2000.
- SIQUEIRA, CARLOS HENRIQUE P. **Aparelhos de Apoio de Elastômero Fretado, uma visão técnico econômica**, Dissertação de M. Sc. Universidade Federal Fluminense, Niterói.