



CONCESSÃO DA PONTE  
PRESIDENTE COSTA E SILVA



**TRECHO SOBRE O MAR**

**RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL**

**VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DAS CORDOALHAS DOS  
CABOS DA PONTE RIO-NITERÓI**

**RELATÓRIO TÉCNICO**

## **ÍNDICE**

**1 - INTRODUÇÃO**

**2 - OBJETIVO**

**3 - CONHECIMENTO DO PROBLEMA**

**4 - CONCLUSÕES**

**5 - ANEXO**

## **1 – INTRODUÇÃO**

O presente relatório vem apresentar os resultados dos ensaios de difração por raios X, realizados para verificar a efetiva tensão de tração instalada nos cabos de protensão positivos das aduelas de concreto dos vãos 91/92 e 92/93 da Ponte Rio - Niterói.

## **2 - OBJETIVO**

É objetivo deste apresentar os resultados e as conclusões do método utilizado para verificação das tensões reinantes nos cabos de protensão - difração por raios X.

## **3 – CONHECIMENTO DO PROBLEMA**

Os ensaios nas estruturas de concreto da ponte, utilizando-se de selos de gesso colocados nas juntas de campo entre aduelas 8 dos vãos P91/P92 e P92/P93, apresentaram rompimento dos selos de gesso instalados, conforme informado no Relatório Técnico MAR-IP-52/0, encaminhado anteriormente. Foram escolhidos três cabos (31, 32 e 33) de cada alma do caixão Paquetá, destes vãos, a fim de se pesquisar a causa do rompimento dos selos implantados, utilizando-se o ensaio não-destrutivo de difração por raios X, o qual define a tensão reinante nos mesmos, a partir da franja formada pela difração dos raios X emitidos sobre a superfície dos fios da cordoalha.

## **4 - CONCLUSÕES**

Conforme descrito no relatório anexo - Relatório Técnico sobre Verificação das Tensões das Cordoalhas dos Cabos da Ponte Rio-Niterói - conclui-se que :

- a) A obra encontra-se com as tensões equilibradas e compatíveis;
- b) O valor médio da tensão residual ficou em um patamar definido e com valor de 750Kg/cm<sup>2</sup>, ou seja 10% do valor medido pelo aparelho na obra, valor este que foi de 7500Kg/cm<sup>2</sup>.
- c) O valor médio da tensão instalada que foi de 750kg/cm<sup>2</sup> da tensão residual somado ao valor de 7500Kg/cm<sup>2</sup> que é o valor da tensão medida “in loco”, totaliza 8250Kg/cm<sup>2</sup>, valor este que indica coerência nas tensões aplicadas atualmente nestes referidos cabos.

c) O valor médio da tensão instalada que foi de 750kg/cm<sup>2</sup> da tensão residual somado ao valor de 7500Kg/cm<sup>2</sup> que é o valor da tensão medida “in loco”, totaliza 8250Kg/cm<sup>2</sup>, valor este que indica coerência nas tensões aplicadas atualmente nestes referidos cabos.

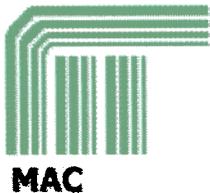
d) Os valores de perdas de protensão encontrados estão totalmente na média, considerando os adequados procedimentos atuais para o cálculo de perdas de protensão.

Portanto, uma nova análise será efetuada por consultor especializado, utilizando-se, além deste relatório, os resultados da prospecção dos cabos de protensão, através do método RIMT, e o resultado dos ensaios de relaxação em cordoalhas de aço realizados, na Belgo Mineira.

## **5 - ANEXO**

Relatório técnico sobre a verificação das tensões das cordoalhas dos cabos da Ponte Rio-Niterói.

## **5 - ANEXO**



MAC - SISTEMA BRASILEIRO DE PROTENSÃO LTDA.

***RELATÓRIO TÉCNICO SOBRE A  
VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES  
DAS CORDOALHAS DOS CABOS  
DA PONTE RIO NITERÓI***

Rio de Janeiro, 12 de dezembro de 2003

TRAVESSA LEONOR MASCARENHAS, 26  
BONSUCESSO - RIO DE JANEIRO - RJ  
TEL (21)3867.4747 - FAX (21)3867.4728  
macprorj@zaz.com.br

visite nosso site: [www.macprotensao.com.br](http://www.macprotensao.com.br)

RUA CAETANO DE CAMPOS, 168-TATUAPÉ  
SÃO PAULO - SP - CEP: 03088-010  
TEL:(11)293-6372 - TEL/FAX: (11)6941-8233  
macprot@sti.com.br



MAC - SISTEMA BRASILEIRO DE PROTENSÃO LTDA.

## 1) Introdução

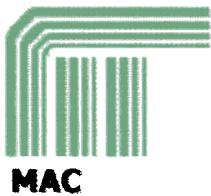
Tem o presente trabalho a finalidade de verificar a efetiva tensão de tração instalada em alguns cabos de protensão da região das aduelas premoldadas na Ponte Rio-Niterói.

Esta verificação será feita através da utilização de aparelhagem específica para este tipo de análise, utilizando-se o processo russo e largamente aplicado em obras aqui no Brasil, conforme anteriormente demonstrado.

O Processo consta da emissão de raios X sobre a superfície dos fios das cordoalhas e por difração destes referidos raios a franja formada define a tensão instalada nestes.

A dificuldade inicial se prende ao fato que este tipo de aço, como a maioria destes, tem tensões “residuais” superficiais, portanto torna-se necessário verificar qual o valor médio destas tensões residuais. O modo de verificação a ser feito será através da introdução parcial de forças / tensões através de prensa adequadamente aferida e a verificação, com a utilização do referido aparelho, das tensões instaladas neste momento. Portanto o valor da tensão lida pelo aparelho, descontado o valor da tensão efetiva aplicada pela prensa será o valor da respectiva tensão residual.

Esta tensão residual servirá para inferir o real valor da tensão existente nos aços de protensão que estão trabalhando no interior das aduelas premoldadas da ponte.



MAC - SISTEMA BRASILEIRO DE PROTENSÃO LTDA.

## 2) Descrição dos Serviços

Vamos, a seguir, descrever os serviços realizados:

### A) Aferição do Aparelho

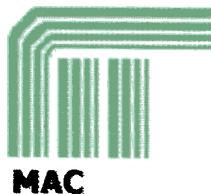
Esta aferição foi realizada através da utilização do aparelho em aços de protensão retirados da obra, aços estes que não foram sujeitos a tensão de tração de valor superior à tensão de limite de proporcionalidade deste aço.

Para verificar a tensão residual média instalada nos aço da obra, foram feitos vários estágios de tracionamento destas cordoalhas em laboratório e concomitantemente verificadas pelo aparelho o valor da tensão superficial lida.

Como as leituras no aparelho foram feitas com os seguintes estágios de carregamento: 0 kg, 1000 kg, 3000 kg, 7000 kg e 10.000 kg, pode-se verificar a repetição do valor da tensão residual superficial através da soma algébrica entre as tensões lidas no aparelho e nas tensões efetivamente aplicadas nesta cordoalha.

O valor verificado neste procedimento foi, em média, 7,5 kg/mm<sup>2</sup>, que equivale a 750 kg/cm<sup>2</sup> de tensão de compressão residual neste aço.

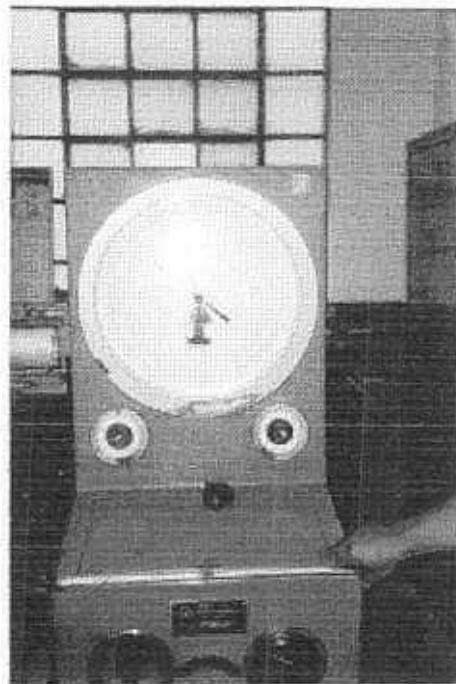
Portanto todas as tensões lidas por este aparelho nos cabos de protensão da ponte Rio-Niterói deverão ser acrescidos deste valor de tração de 750 kg/cm<sup>2</sup>.



MAC - SISTEMA BRASILEIRO DE PROTENSÃO LTDA.



**Foto 1:** Aferição do aparelho



**Foto 2:** Tensões residuais

TRAVESSA LEONOR MASCARENHAS , 26  
BONSUCESO - RIO DE JANEIRO - RJ  
TEL (21)3867.4747 - FAX (21)3867.4728  
macprorj@zaz.com.br

visite nosso site: [www.macprotensao.com.br](http://www.macprotensao.com.br)

RUA CAETANO DE CAMPOS, 168-TATUAPÉ  
SÃO PAULO - SP - CEP: 03088-010  
TEL:(11)293-6372 - TEL/FAX: (11)6941-8233  
macprot@sti.com.br



## MAC - SISTEMA BRASILEIRO DE PROTENSÃO

### B) Medição nos Cabos na Obra

Para a adequada leitura de tensão nestes cabos foram feitas algumas janelas de inspeção nos cabos / cordoalhas / fios anteriormente escolhidos e definidos em conjunto com a fiscalização da obra.

Os cabos escolhidos foram os de numeração 31, 32 e 33 e para tanto foram retirados seus cobrimentos de concreto, como também a bainha metálica e a respectiva nata de injeção, sem causar qualquer dano à superfície deste aço.

Para este serviço foram utilizados os profissionais da COPPETEC e o respectivo aparelho anteriormente citado. A descrição e resumo dos trabalhos realizados encontram-se a seguir.

### **3) Conclusões**

Vamos, a seguir, apresentar as conclusões para o serviço realizado.

- a) Pelas tabelas apresentadas no relatório técnico da COPPETEC, podemos verificar a coerência destes citados resultados e afirmar que nos pontos de leitura a obra encontra-se com tensões equilibradas e compatíveis com o tipo da obra existente.**
- b) O valor médio da tensão residual destes aços, também ficou em um patamar definido e com valor de 750 kg/cm<sup>2</sup>.**
- c) Na tabela Nº 2 do relatório da COPPETEC vemos que o valor médio das tensões lidas pelo aparelho na obra foi de 7500 kg/cm<sup>2</sup> e que as variações de valores encontradas não fornece uma dispersão considerável, podendo-se afirmar que as diferenças de tensões encontradas são totalmente coerentes com as situações normais de obra deste tipo.**
- d) O valor médio efetivo da tensão instalada nos cabos desta região da obra foi então de = 7500 kg/cm<sup>2</sup> + 750 kg/cm<sup>2</sup> = 8.250 kg/cm<sup>2</sup>. Valor este que indica, a luz dos processos de cálculo de perdas de protensão dos dias de hoje, coerência nas tensões aplicadas atualmente nestes referidos cabos. Cabe aqui frisar que esta obra foi calculada em época que não se tinha como procedimento o cálculo explícito e discriminado de cada uma das perdas de protensão, portanto era usual naquela época a admissão de um valor de tensão final depois das perdas totais de aproximadamente 10.000 kg/cm<sup>2</sup>. Este fato poderá justificar parte do atual comportamento à flexão do trecho da obra analisado. Porém, lembramos que à luz dos adequados procedimentos atuais de cálculo de perdas de protensão os valores encontrados estão totalmente na média de perdas encontradas em obras atualmente realizadas.**
- e) O ensaio de relaxação neste aço realizado nos laboratórios da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira evidenciou que este aço é**



## MAC - SISTEMA BRASILEIRO DE PROTENSÃO

de Relaxação Normal e que o valor desta perda está também coerente com os resultados atualmente definidos para este tipo de aço.

Pronto para quaisquer esclarecimentos adicionais,

Atenciosamente,

  
\_\_\_\_\_  
ENGº EVANDRO PORTO DUARTE  
Diretor  
CREA Nº 20.243-D 5ªRegião

TRAVESSA LEONOR MASCARENHAS , 26  
BONSUCESSO - RIO DE JANEIRO - RJ  
TEL (21)3867.4747 - FAX (21)3867.4728  
macprorj@zaz.com.br

visite nosso site: [www.macprotensao.com.br](http://www.macprotensao.com.br)

RUA CAETANO DE CAMPOS, 168-TATUAPÉ  
SÃO PAULO - SP - CEP: 03088-010  
TEL:(11)293-6372 - TEL/FAX: (11)6941-8233  
macprot@sti.com.br

## RELATÓRIO

# ANÁLISE DE TENSÕES RESIDUAIS NA PONTE RIO-NITEROI

**Interessado: Mac Protensão**

**Novembro de 2003**

## 1. Introdução

Foram realizadas 40 (quarenta) medições de tensões em cordoalhas. As tensões residuais foram medidas por equipamento portátil de raios-X que utiliza o método de dupla exposição e radiação  $K\alpha$  do Cr. O plano difratante foi o {211}. A figura 1 apresenta este equipamento. As tensões foram medidas na direção longitudinal das cordoalhas.

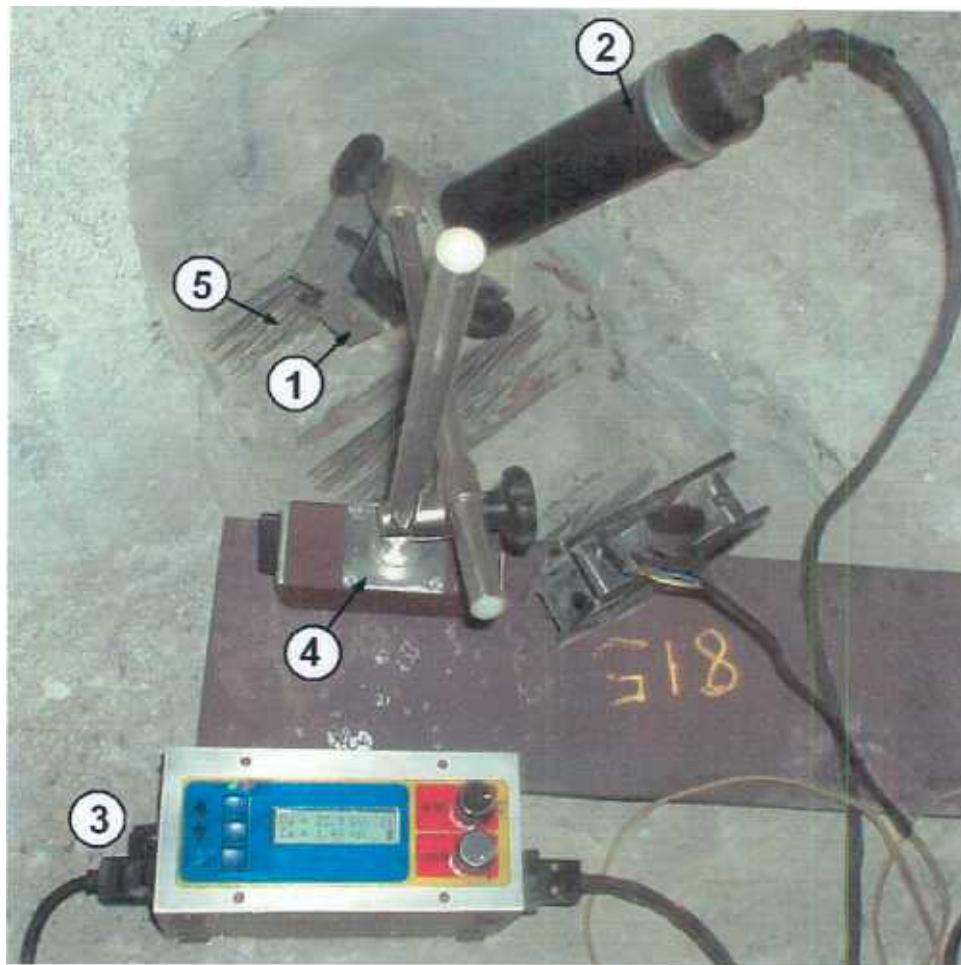


Figura 1. Equipamento portátil para análise de tensões:  
1- tubo de raios-X e colimador; 2- fonte de alta tensão; 3 – unidade de controle; 4 – suporte magnético; 5 – cordoalha analisada.

## 2. Resultados

A figura abaixo indica os cabos analisados.

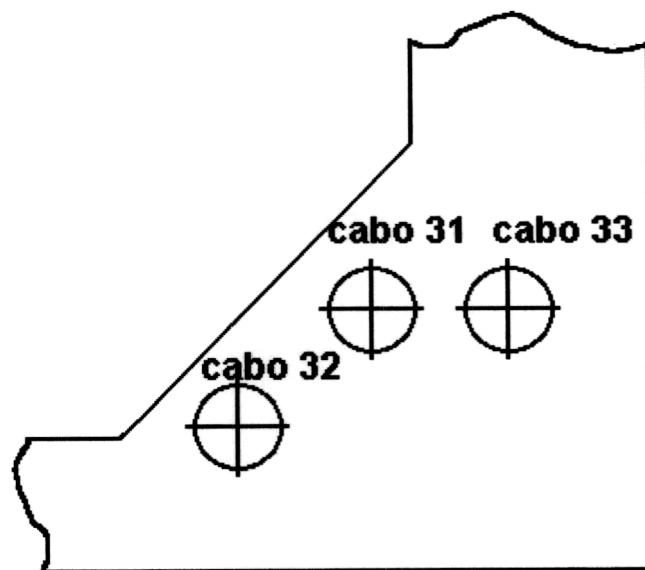


Figura 2. Esquema da localização dos cabos analisados.

A tabela 1 mostra os resultados obtidos nas amostras de cordoalhas (cordoalha solta). O sinal (-) significa tensão residual de compressão, e o sinal (+) significa tensão residual de tração. Os valores são expressos em kgf/mm<sup>2</sup>.

**Tabela 1. Tensões residuais em amostras de cordoalhas.**

N	Cordoalha	Fio	Tensão residual, kgf/mm <sup>2</sup>
1	1	1	-7
2		2	-8
3		3	-8
4	2	1	-7
5		2	-8
6		3	-7

A tabela 2 mostra os resultados obtidos nas cordoalhas dos cabos analisados.

As figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam os locais de medição das tensões.

**Tabela 2. Tensões medidas nos cabos analisados.**

N	Local	Cabo	Cordoalha	Tensão, kgf/mm <sup>2</sup>
1	Vão 91/92 Emenda Alma Externa	33	1	+70
2			2	+67
3			3	+70
4		31	4	+70
5			5	+80
6			6	+70
7		32	7	+65
8			8	+65
9	Vão 91/92 Emenda Alma Interna	33	9	+70
10			10	+75
11		31	11	+60
12			12	+65
13			13	+65
14		32	14	+85
15			15	+80
16	Vão 92/93 Emenda Alma Externa	33	16	+80
17			17	+75
18			18	+75
19		31	19	+83
20			20	+85
21			21	+87
22		32	22	+85
23			23	+80
24	Vão 92/93 Emenda Alma Interna	33	24	+70
25			25	+75
26		31	26	+60
27			27	+65
28			28	+65
29		32	29	+75
30			30	+80

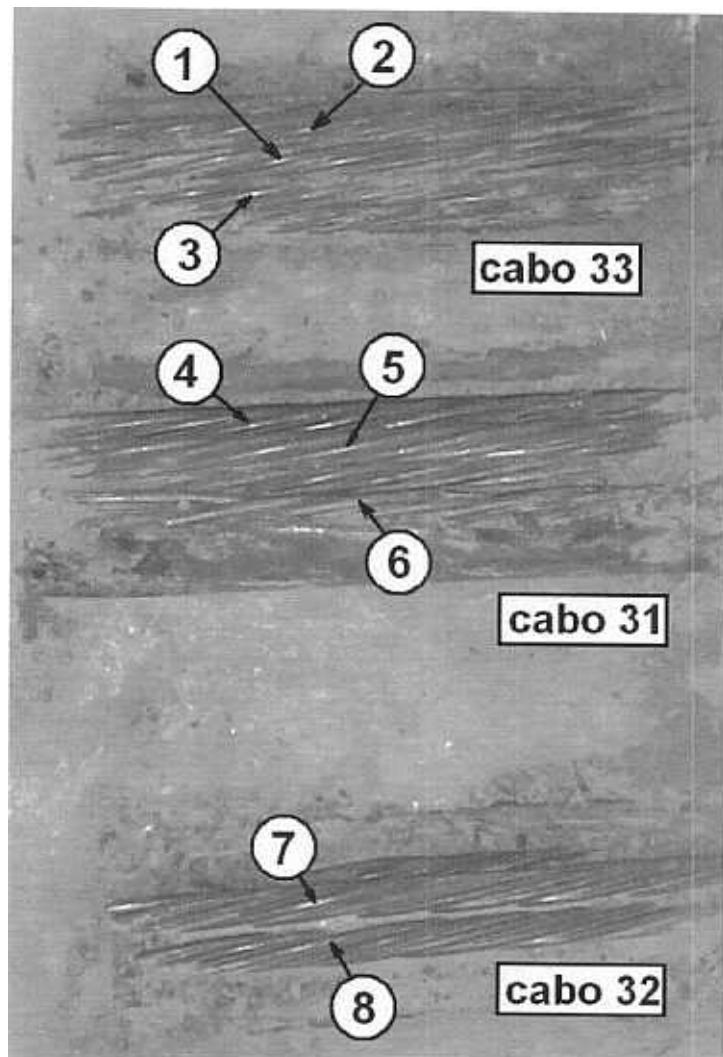


Figura 3. Cordoalhas analisadas na estaca do vão 91-92 (alma externa).

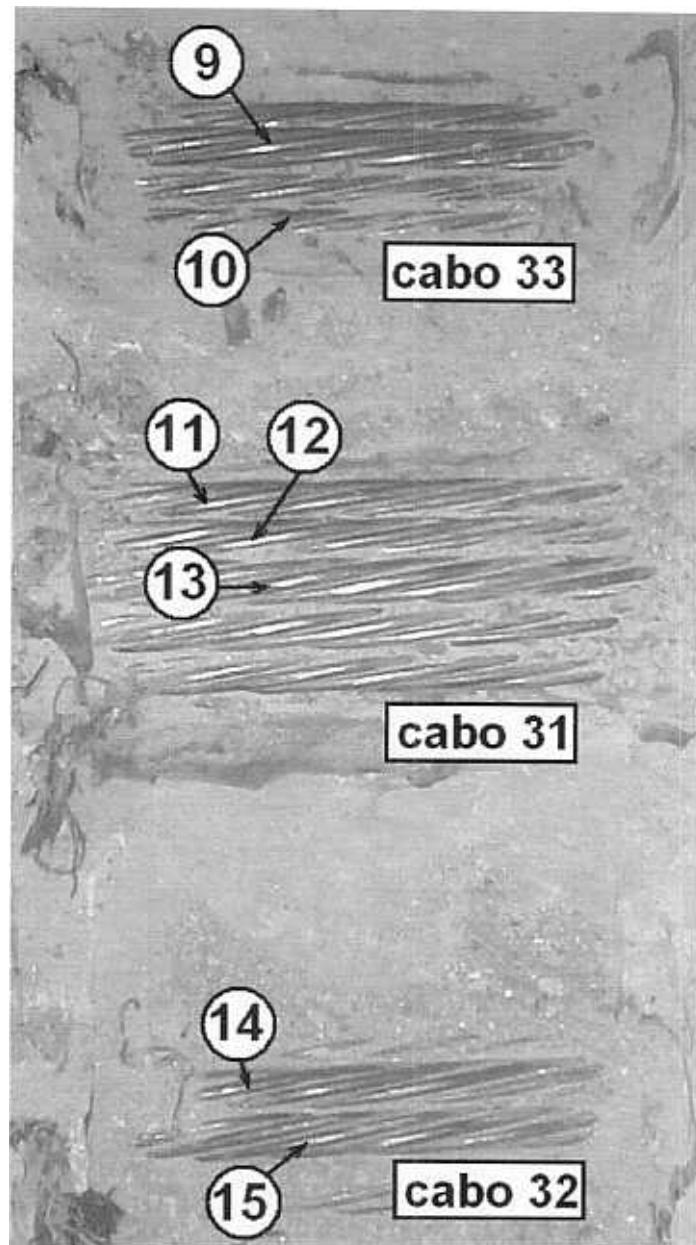


Figura 4. Cordoalhas analisadas na estaca do vão 91-92 (alma interna).

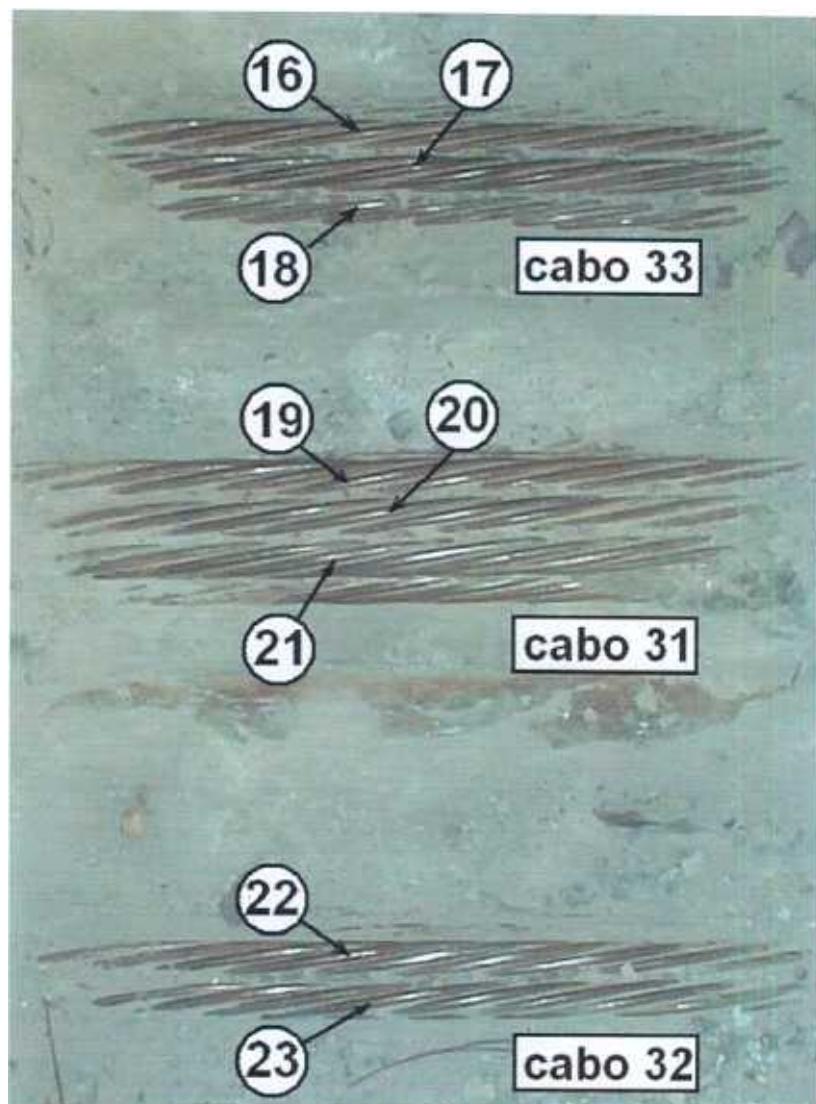


Figura 5. Cordoalhas analisadas na estaca do vão 92-93 (alma externa).

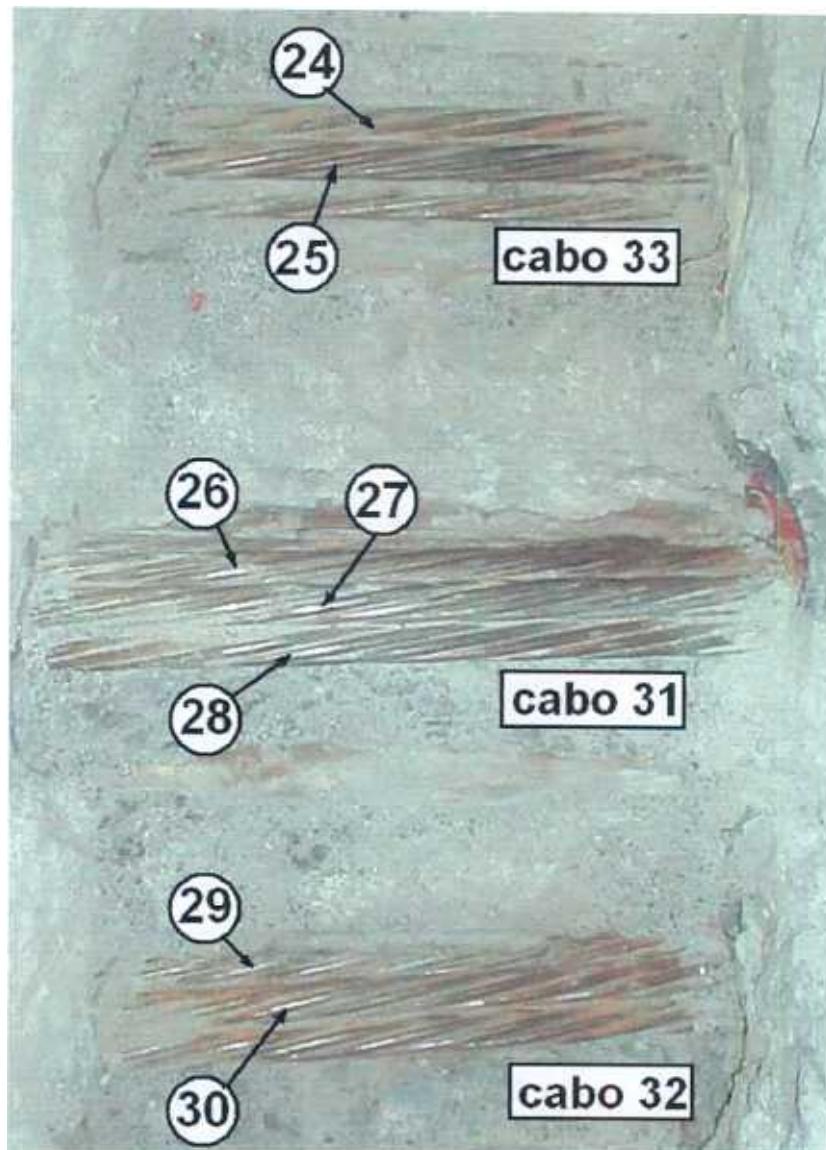


Figura 6. Cordoalhas analisadas na estaca do vão 92-93 (alma interna).

### 3. Medição de tensões residuais e aplicadas em uma cordoalha na máquina de ensaio de tração.

Foi realizado um teste de medição das tensões residuais e das tensões durante aplicação de vários níveis de carga em uma cordoalha. Os resultados destas medições estão apresentados na tabela 3, onde:

$\sigma_{\text{residual}}$  – valor da tensão residual medida quando a cordoalha estava sem carga (carga zero), veja tabela 1

$\sigma_{\text{medida}}$  – valor da tensão medida através do equipamento portátil de medição de tensões durante carregamento;

$\sigma_{\text{real}}$  – valor da tensão aplicada considerando os valores das tensões residuais medidas quando a cordoalha estava sem carga (carga zero);

$F_{\text{aplicada}}$  – carga aplicada, calculada a partir das tensões reais.

#### 3.1. Cálculo das tensões reais e da carga aplicada.

##### 3.1.1. Tensão residual média.

Foram medidas seis valores das tensões residuais em duas cordoalhas (tabela 1) para obter a média:

$$\sigma^m_{\text{residual}} = -7,5 \text{ kgf/mm}^2 \quad (1)$$

##### 3.1.2. Tensão real e a carga aplicada.

A tensão real deve ser calculada a partir da tensão medida lendo em consideração a tensão residual média:

$$\sigma_{\text{real}} = \sigma_{\text{medida}} - \sigma^m_{\text{residual}}, \quad (2)$$

A carga aplicada é calculada dividindo a tensão real,  $\sigma_{real}$ , por área da cordoalha, A:

$$F_{aplicada} = \sigma_{real} \times A, \quad (3)$$

A área da cordoalha é igual a soma das áreas dos arames:

$$A = 7 \cdot A_{arame} = 7 \cdot \pi \cdot r^2 = 90 \text{ mm}^2, \quad (4)$$

Onde r – raio de cada arame.

**Tabela 3. Resultados do ensaio de tração.**

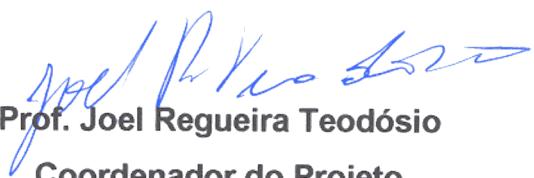
Nº	$\sigma_{medida}$ , kgf/mm <sup>2</sup>	$\sigma_{real}$ , kgf/mm <sup>2</sup>	$F_{aplicada}$ , kgf	Observações
1	3	+10,5	945	Carga 1=1000 kgf
2	+24	+31,5	2835	Carga 2=3000 kgf
3	+68	+75,5	6795	Carga 3=7000 kgf
4	+100	+107,5	9675	Carga 4=10000kgf

#### 4. Conclusões.

Os valores das tensões trativas reais aplicadas, são iguais às tensões medidas nos cabos da ponte, acrescidas de 7,5 kgf/mm<sup>2</sup>, considerando que o valor médio das tensões residuais compressivas iniciais (cordoalha solta) é de -7,5 kgf/mm<sup>2</sup>.

## **ANÁLISE DE TENSÕES RESIDUAIS NA PONTE RIO-NITEROI**

**Rio de Janeiro, 14 de novembro de 2003**



**Prof. Joel Regueira Teodósio**

Coordenador do Projeto



**Profª Glória Dulce de Almeida Soares**

Coordenadora do programa de Engenharia de Metalúrgica e Matérias



**José Farias de Oliveira**

**Diretor Executivo da Fundação COPPETEC**