



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

COMPORTAMENTO E PROJETO DE PONTES ESTAIADAS  
ESTUDO DE CASO  
A PONTE SOBRE O RIO KWANZA

GUILHERME JOSÉ BANDEIRA JOVINO MARQUES

RECIFE

2012

GUILHERME JOSÉ BANDEIRA JOVINO MARQUES

COMPORTAMENTO E PROJETO DE PONTES ESTAIADAS  
ESTUDO DE CASO  
A PONTE SOBRE O RIO KWANZA

Monografia apresentada como requisito  
parcial para a conclusão do curso de  
Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Prof. Dr. Ézio Araujo

RECIFE

2012

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M357c Marques, Guilherme José Bandeira Jovino.  
Comportamento e projeto de pontes estaiadas: estudo de caso : a ponte sobre o rio Kwanza / Guilherme José Bandeira Jovino Marques. – Recife: O Autor, 2012.

viii, 134 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ézio Araújo.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2012.

Inclui Referências Bibliográficas e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Pontes estaiadas. 3. Ponte sobre o rio Kwanza..  
I. Araújo, Ézio (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2012-205

GUILHERME JOSÉ BANDEIRA JOVINO MARQUES

COMPORTAMENTO E PROJETO DE PONTES ESTAIADAS  
ESTUDO DE CASO  
A PONTE SOBRE O RIO KWANZA

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

Média Final: \_\_\_\_\_

Data da Aprovação: \_\_\_\_\_

---

Prof. Ézio Araujo  
Orientador

---

Prof.  
Examinador

---

Prof.  
Examinador

## RESUMO

A Ponte de Barra de Kwanza, localizada em Luanda, Angola é estaiada e constituída de três segmentos, sendo dois laterais estaiados e um central bi-rotulado. Os dois mastros são em concreto armado e o tabuleiro em viga metálica mista em aço e concreto. Em sua situação atual, esta tem sido submetida a cargas e velocidades superiores ao que foi projetada, tendo como consequências deslocamentos e vibrações. Este trabalho tem como objetivo descrever o projeto de reforço e comparar seu desempenho através de dois modelos numéricos, estático e dinâmico. Na primeira parte do trabalho, será apresentada uma descrição da situação atual da Ponte e um modelo numérico tridimensional, considerando-se as cargas atuais, o funcionamento estrutural e resultados obtidos experimentalmente através de inspeções. Em seguida, será descrito sobre o projeto de reforço que consiste no aumento da rigidez vertical do vão central e aumento das frequências de vibrações verticais e apresentado um modelo numérico tridimensional considerando o reforço da Ponte. Por fim, serão comparados os dois modelos numéricos através do comportamento estático e dinâmico, deformações e frequências de vibração.

## **ABSTRACT**

The Bar Kwanza Bridge, located in Luanda, Angola, is cable-stayed and has three segments, two laterals cable-stayed and one central bi-labeled. The two masts are made of reinforced concrete beam and the deck in steel and mixed metal concrete. In its current situation, it is being subjected to loads and speeds higher than the ones it was projected for, with the consequences of displacement and vibrations. This paper aims to describe the project to strengthen and to compare their performance through two numerical models, static and dynamic. In the first part of this work, will be presented a description of the current situation of the Bridge and a three dimensional numerical model, considering the current loads, the operating and structural experimental results obtained through inspections. After that, will be described the project of reinforcement, which was made to increase the vertical stiffness of the central span and to increase the frequency of vertical vibrations. Also it will be presented a dimensional numerical model, considering strengthening the bridge. Finally, the two numerical models will be compared through their static and dynamic behavior, deformations and vibration frequencies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Peças estruturais da Ponte Estaiada.....	7
Figura 2 Tipos de Pontes Estaiadas .....	8
Figura 3 Sistema Tipo Harpa.....	9
Figura 4 Sistema Tipo Leque.....	10
Figura 5 Outros Sistemas de Cabos.....	10
Figura 6 Sistemas de Cabos: Configuração Transversal .....	11
Figura 7 Vista de satélite da região: Localização da Ponte sobre o Rio Kwanza.....	16
Figura 8 Vista de satélite da Ponte sobre o Rio Kwanza.....	17
Figura 9 Eixos do Modelo da Ponte Original .....	22
Figura 10 Projeção do Modelo da Ponte Original .....	23
Figura 11 Eixos do Modelo da Ponte Reforçada.....	23
Figura 12 Eixos do Modelo da Ponte Reforçada.....	24
Figura 13 Modelo analisado no SAP.....	32
Figura 14 Seção Longitudinal da Ponte.....	33
Figura 15 Seção Transversal da Ponte.....	34
Figura 16 Planta Baixa da Ponte.....	35
Figura 17 Momento fletor Tramo 1 (Atual)	
Figura 18 Momento fletor Tramo 2 (Atual)	
Figura 19 Momento fletor Tramo 3 (Atual) .....	38
Figura 20 Momento fletor Tramo 1 (Reforçada)	
Figura 21 Momento fletor Tramo 2 (Reforçada)	
Figura 22 Momento fletor Tramo 3 (Reforçada).....	38
Figura 23 Momentos Fletores nos apoios.....	39
Figura 24 Verificação das Vigas Compostas.....	40
Figura 25 Verificação das Longarinas.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Período e Frequência da Estrutura Atual.....	37
Tabela 2. Período e Frequência da Estrutura Reforçada.....	37
Tabela 3. Momento Fletores nos Apoios.....	39

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Definições .....	1
1.2. Nomenclaturas .....	1
1.3. Classificação .....	2
1.3.1. Matéria Prima de Superestrutura.....	2
1.3.2. Comprimento.....	2
1.3.3. Natureza de Tráfego .....	3
1.3.4. Sistema Estrutural da Superestrutura .....	3
1.3.5. Processo de Execução .....	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. METODOLOGIA .....	6
4. DEFINIÇÃO: COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS PONTES ESTAIADAS.....	7
4.1. Introdução: Pontes Estaiadas .....	7
4.2. Sistemas de Cabos .....	9
4.2.1. Sistemas de Cabos: Tipo Harpa .....	9
4.2.2. Sistemas de Cabos: Tipo Leque .....	9
4.3. Sistemas de Cabos: Configuração Transversal.....	10
4.4. Tabuleiro .....	12
4.4.1. Tabuleiro Metálico .....	12
4.4.2. Tabuleiro em Concreto.....	12
4.4.3. Tabuleiro Misto .....	13
4.5. Torres (Pilares) .....	14
4.6. Estais.....	15
4.6.1. Barras .....	15
4.6.2. Fios .....	15
4.6.3. Cordoalhas.....	15
4.6.4. Cabos.....	15
5. PONTE ESTAIADA DA BARRA DO KWANZA.....	16
5.1. Mapa de Situação .....	16
5.2. Histórico da Ponte de Kwanza.....	18
5.3. Situação Atual.....	18
5.3.1. Modelo Estrutural.....	18
5.3.2. Tráfego .....	19
5.4. Situação Futura .....	19
5.4.1. Modelo Estrutural.....	19
5.4.2. Tráfego Proposto .....	20
5.5. Ensaios/Vistorias .....	20
6. MODELAGEM ESTRUTURAL.....	21
6.1. Introdução ao Software SAP2000.....	21
6.2. Modelagem da Ponte .....	22
6.3. Concepção.....	24
6.3.1. Ponte Atual.....	24
6.3.2. Ponte Reforçada .....	25
6.4. Material .....	25
6.4.1. A36.....	25
6.4.2. C20 .....	25
6.5. Barras (FRAME).....	26

6.5.1.	Cabos.....	26
6.5.2.	Mastros da Torre .....	27
6.5.3.	Contraventamento da Torre.....	27
6.5.4.	Vigas Compostas.....	28
6.5.5.	Longarinas (GREY HE 450A).....	28
6.5.6.	Carlingas (GREY HE 700A).....	29
6.5.7.	Barras de Contraventamento .....	29
6.6.	Cascas (SHELL) .....	30
6.6.1.	Tabuleiro .....	30
6.7.	Aparelhos de Apoio (LINK) .....	31
6.8.	Modelo Estrutural Existente. ....	33
6.9.	Cargas Utilizadas .....	36
6.9.1.	Peso Próprio .....	36
6.9.2.	QC1 .....	36
6.9.3.	Protensões nos Cabos .....	36
7.	RESULTADOS.....	37
7.1.	Frequência.....	37
7.2.	Momento Fletores .....	38
7.3.	Retificação dos Resultados .....	41
8.	CONCLUSÃO .....	42
9.	BIBLIOGRAFIA.....	43
10.	ANEXOS .....	44

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Definições

Pontes são construções que têm como objetivo manter a continuidade de uma via em virtudes de grandes desníveis ou outras vias no seu percurso seja ela rodovia, ferrovia ou via de pedestres. Essas estruturas são classificadas quanto ao obstáculo a ser vencido, ou seja, se o obstáculo for um curso de água (rio, canais, etc.), a estrutura é chamada de Ponte (propriamente dito); já se o obstáculo for uma grande depressão ou outra via em seu caminho, a estrutura é denominada Viadutos.

## 1.2. Nomenclaturas

A estrutura como um todo é dividida em: Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura. A superestrutura é dividida em duas, a estrutura principal e a estrutura secundária.

- Superestrutura: É a parte longitudinal da ponte, que tem com objetivo vencer os obstáculos previstos. É dividida em estrutura principal, aquela que tem a finalidade de vencer o vão livre da ponte (Longarinas e Transversinas); e a estrutura secundária, que recebe diretamente os esforços das cargas e as distribui para a estrutura principal (Laje).
- Mesoestrutura: É a parte da ponte responsável pelo intercambio entre a superestrutura e a infraestrutura. Nela são encontrados os apoios de NOEPRENE, os encontros e os pilares.
- Infraestrutura: É destinada a distribuir todos os esforços provenientes da ponte para o solo de fundação, que, junto com o tipo de fundação, deve ter competência necessária para não provocar grandes recalques.

As pontes e viadutos não são, contudo, constituídos apenas desses elementos. Outros exemplos são: Pista de rolamento, que é a parte reservada a passagem dos veículos; Acostamento, que representa o espaço extra na pista de rolamento para o uso dos próprios veículos; Passeio, a parte reservada para os pedestres; Guarda-Corpo e Guarda-Rodas, barreiras que transmitem a segurança dos pedestres e veículos, respectivamente, para que os mesmos não ultrapassem suas áreas reservadas.

### 1.3. Classificação

Existem inúmeros critérios de classificação das pontes, sendo as mais importantes:

- Matéria prima da superestrutura
- Comprimento
- Natureza do tráfego
- Sistema estrutural da superestrutura
- Processo de execução

#### 1.3.1. Matéria Prima de Superestrutura

Quanto à matéria prima que é feita a superestrutura, as pontes são classificadas como:

- Pontes de Madeira
- Pontes de Alvenaria
- Pontes de Concreto Simples
- Pontes de Concreto Armado
- Pontes de Concreto Protendido
- Pontes de Aço
- Pontes Mistas

#### 1.3.2. Comprimento

Quanto ao comprimento que a ponte pode ter, as mesmas são classificadas em:

- Galerias: de 2 a 3 metros
- Pontilhões: de 3 a 10 metros
- Pontes: maiores que 10 metros

Existe, também, uma classificação para as Pontes, estruturas com comprimento maior que 10 metros:

- Pontes de pequenos vãos: até 30 metros
- Pontes de médios vãos: de 30 a 60/80 metros
- Pontes de grandes vãos: maiores que 60/80 metros

### 1.3.3. Natureza de Tráfego

Segundo a natureza do tráfego, as pontes são classificadas em:

- Pontes Rodoviárias
- Pontes Ferroviárias
- Passarelas (passagem apenas de pessoas)
- Pontes Aeroviárias
- Ponte-Aquedutos
- Pontes Mistas

As pontes mistas são aquelas que possuem mais de um tráfego. Como exemplo, podemos citar as pontes Ferro-Rodoviárias, que, como o próprio nome diz, são aquelas que exercem o papel tanto de ferrovias como de rodovias.

### 1.3.4. Sistema Estrutural da Superestrutura

Quanto ao sistema estrutural da superestrutura, as pontes podem ser classificadas em:

- Ponte em Viga
- Ponte em Pórtico
- Ponte em Arco
- Ponte Pênsil
- Ponte Estaiada

As divisões das pontes quanto o seu sistema estrutural pode ter, também, sua subdivisão interna.

### 1.3.5. Processo de Execução

Existem vários processos de execução da estrutura de uma ponte, e é o engenheiro projetista que define qual é o mais apropriado para cada situação. Exemplos de processos de execução são:

- Construção com concreto moldado no local da execução
- Construção com elementos pré-moldados
- Construção com balanço sucessivo
- Construção com deslocamento progressivo

A ponte de Kwanza pode ser classificada, segundo os parâmetros descritos anteriormente, como uma ponte mista, já que o tabuleiro (superestrutura) é misto. Ou seja, a laje é de concreto e as Longarinas são metálicas. Quanto ao comprimento, é uma ponte de grandes vãos, já que o seu possui 400 metros, maior do que o estipulado de 80 metros. É uma ponte rodoviária, pois sua superfície é destinada a passagem de automóveis, e é classificada como uma Ponte Estaiada, já que o sistema estrutural da superestrutura é em *estais* metálicos.

## **2. OBJETIVOS**

O presente estudo tem como objetivo determinar de maneira mais exata, usual e econômica, intervenções que venham a solucionar os problemas detectados na Ponte da Barra de Kwanza, bem como descrever tais soluções e comparar o desempenho estrutural através de dois modelos numéricos - estáticos e dinâmicos -, da estrutura existente e reforçada. Para um melhor entendimento, foi-se apresentado um breve resumo sobre o comportamento estrutural das pontes estaiadas e a história da própria ponte de Kwanza, além de seus problemas e intervenções anteriores. A fim de concretizar todas as etapas de verificações, teve-se que analisar os ensaios e vistorias feitos na ponte, como também apresentar tais documentos no final dessa monografia.

### **3. METODOLOGIA**

Com base nos ensaios e vistorias feitos na Ponte antes do início do projeto de reforço e nos conceitos da engenharia estrutural, foi-se determinada uma possível solução para os problemas apresentados na Ponte da Barra de Kwanza. Através do software SAP2000, foi modelada a estrutura atual da ponte e a estrutura da mesma com o provável reforço da maneira mais próxima possível da realidade. Posteriormente, os resultados obtidos do processamento das duas estruturas no programa em questão foram comparados e verificados, confirmando as soluções dadas anteriormente.

#### 4. DEFINIÇÃO: COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DAS PONTES ESTAIADAS.

##### 4.1. Introdução: Pontes Estaiadas

As pontes estaiadas são constituídas por três elementos principais: torres, que tem o objetivo de ancoragem dos cabos; *estais* (cabos, cordoalhas, fios), que são os apoios “fictícios” fixados às torres em uma extremidade, e ao tabuleiro na outra, diminuindo os momentos fletores em função da quantidade de cabos empregados; e tabuleiro, constituído da laje e das longarinas, o componente estrutural que recebe diretamente as cargas que vão atuar na ponte.

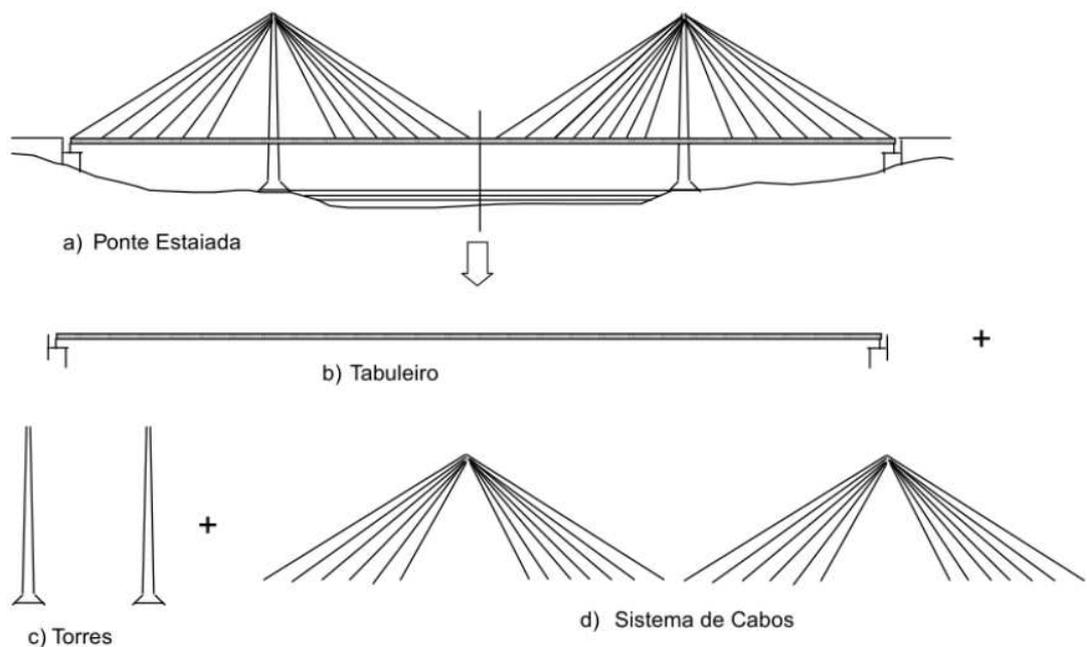


Figura 1 Peças estruturais da Ponte Estaiada

O modo como a ponte estaiada será feita modifica por completo o seu comportamento estrutural. Dependendo dessa concepção, os elementos constituintes desta (torre, cabos e tabuleiro) podem ser mais esbeltos ou mais rígidos. A figura a seguir exemplifica três tipos de arranjos estruturais de uma ponte estaiada:

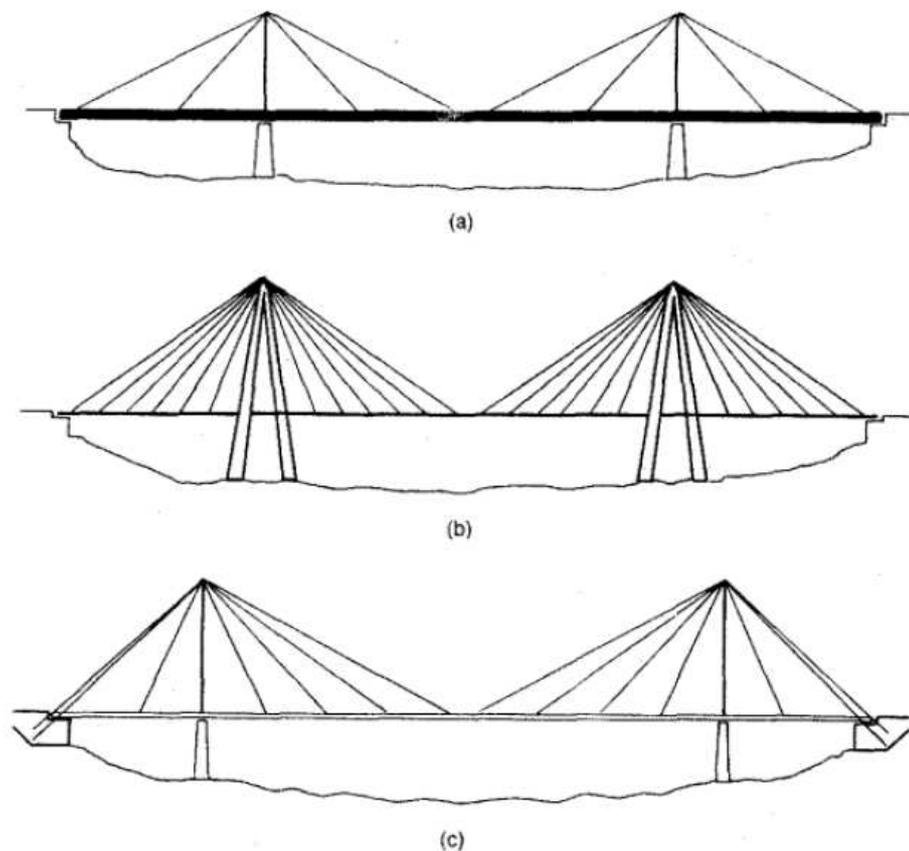


Figura 2 Tipos de Pontes Estaiadas

- a) O tabuleiro é muito rígido e existem poucos *estais*. Essa concepção estrutural faz com que o tabuleiro, mais especificamente as longarinas, seja submetido a uma grande parcela das cargas e, conseqüentemente, momentos fletores elevados. Dessa forma, a torre e os *estais* recebem menos cargas e suas estruturas são mais esbeltas.
- b) Nesse caso, a torre é mais rígida e o número de *estais* é bem superior, recebendo ambos a maior parte do carregamento. A carga transmitida ao tabuleiro é bastante reduzida, o que permite uma estrutura muito mais esbelta.
- c) Nessa concepção estrutural, os *estais* exercem um papel fundamental na distribuição das cargas, pois equilibram as cargas do vão central e dos vãos laterais. O tabuleiro é sujeito a baixos momentos fletores e as torres apenas a tensões de compressão, o que faz com que ambos tenham uma estrutura mais esbelta.

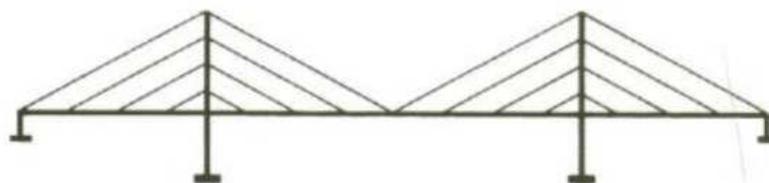
## 4.2. Sistemas de Cabos

A configuração do sistema de cabos é de fundamental importância no estudo de uma ponte estaiada, pois ele é o responsável pelo comportamento global da estrutura. As principais configurações são:

- Harpa;
- Leque.

### 4.2.1. Sistemas de Cabos: Tipo Harpa

O sistema tipo harpa é aquele que possui todos os *estais* paralelos entre si, com alturas variáveis ao longo da torre e distâncias distintas ao longo do tabuleiro. Tal sistema não é viável do ponto de vista econômico, sendo escolhido devido ao efeito que saúda à estética da ponte.



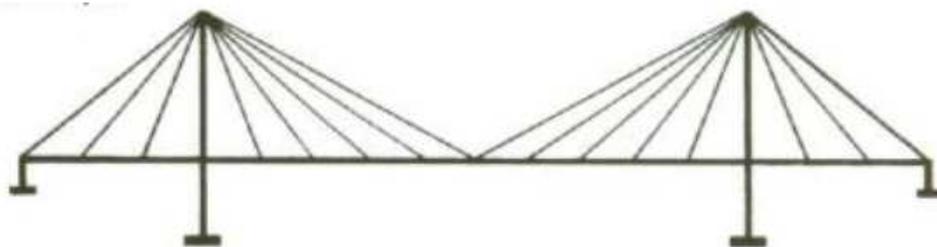
(a) Sistema em harpa

Figura 3 Sistema Tipo Harpa

Este sistema é o menos indicado para pontes com vãos muito grandes, já que o tabuleiro será sujeito a altas tensões de compressão e, conseqüentemente, terá uma seção mais rígida.

### 4.2.2. Sistemas de Cabos: Tipo Leque

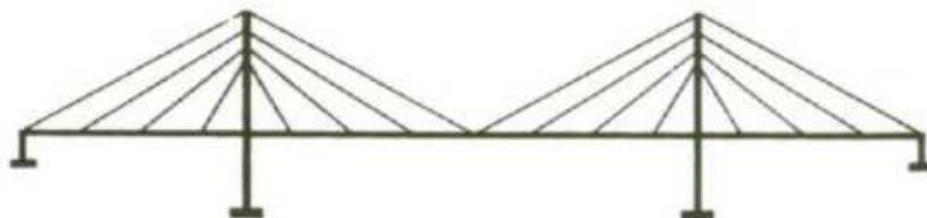
O sistema em leque possui várias vantagens se comparado ao tipo Harpa, além de ser aceito esteticamente por diversos projetistas. Ele tem todos os *estais* saindo de um único ponto situado no topo da torre, variando apenas as distâncias ao longo do tabuleiro. Neste sistema, o peso (quantidade) de cabos é bem menor do que o do tipo Harpa, levando em consideração pontes com torres de mesma altura. Isto acontece porque a inclinação dos cabos é maior e, conseqüentemente, tem-se uma maior componente vertical da força combatente. O sistema de cabos tipo leque possui, contudo, algumas desvantagens. Segundo Vargas (2007), a maior delas está no projeto e na construção dos topos das torres, pois é nesta direção que todos os cabos convergem.



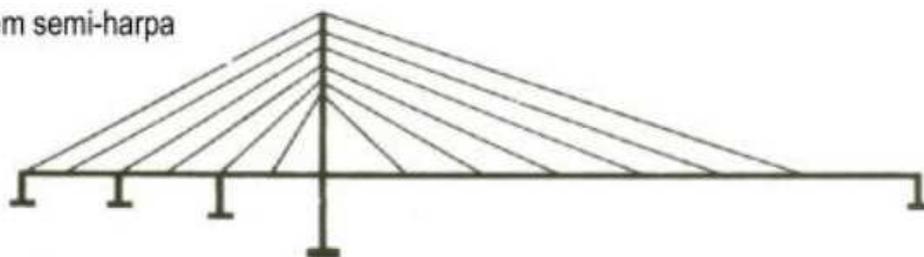
(b) Sistema em leque

Figura 4 Sistema Tipo Leque

Existem, também, sistemas de cabos que são menos usuais do que os supracitados, como o do tipo semi-Harpa e o assimétrico, representados nas figuras abaixo.



(c) Sistema em semi-harpa



(d) Sistema assimétrico

Figura 5 Outros Sistemas de Cabos

#### 4.3. Sistemas de Cabos: Configuração Transversal

Quanto à configuração transversal dos cabos, têm-se dois tipos mais usuais, sendo eles: sistema com suspensão central e sistema com suspensão lateral.

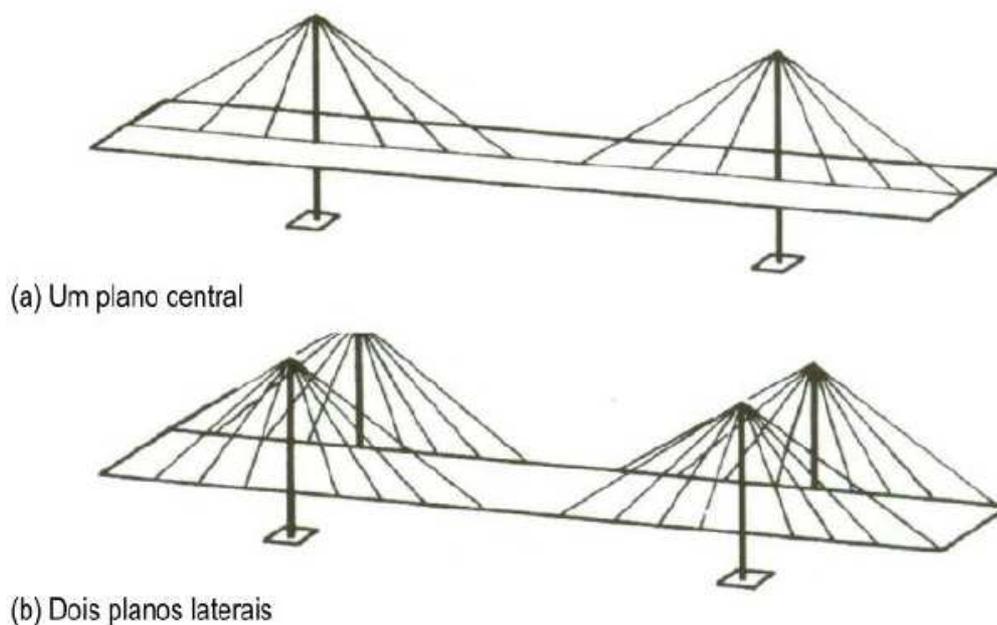


Figura 6 Sistemas de Cabos: Configuração Transversal

- a) Do ponto de vista estético, o sistema de suspensão central é bastante recomendado, porém para a estabilidade global ele não é o mais adequado. A falta de simetria nas cargas pode submeter o tabuleiro a torções elevadas, exigindo o aumento da rigidez dessa peça. Por outro lado, com um tabuleiro mais rígido, tem-se uma boa distribuição das cargas atuantes nos *estais*, o que acarreta na diminuição de suas quantidades. O fato de a torre estar localizada no centro da pista faz com que, em pontes com vãos maiores, haja a necessidade de que as torres sejam mais rígidas e de que a seção transversal do tabuleiro seja maior, aumentando a carga atuante nessa ponte e inviabilizando o custo da obra.
- b) Dentre as pontes estaiadas, o sistema de suspensão lateral é o mais empregado, principalmente em pontes muito largas. Neste sistema, os momentos torçores são equilibrados, o que diminui a seção transversal do tabuleiro e a torna mais esbelta. Nesse caso, são máximos os momentos fletores no meio da seção transversal do tabuleiro e os cortantes nas ancoragens dos cabos na extremidade do tabuleiro.

O ângulo dos *estias* que melhor combate os esforços a qual a ponte é submetida é o de  $45^\circ$ . Para os *estais* mais longos, tem-se uma angulação limite de  $25^\circ$ ; já para os *estais* mais curtos, tem-se um limite superior de angulação de  $65^\circ$ .

Quanto ao espaçamento entre os *estais*, alguns fatores devem ser considerados: o vão a ser vencido da ponte, a seção transversal do tabuleiro (largura e forma) e a maneira na qual a ponte será construída.

#### 4.4. Tabuleiro

O tabuleiro tem grande importância na distribuição das cargas verticais. É ele o responsável por distribuir todas as forças verticais atuantes para os pontos de ancoragem dos *estais* (que são considerados apoios elásticos intermediários), como também pela boa distribuição dos esforços para os apoios principais da estrutura - as torres. A classificação do tabuleiro pode ser feita de várias maneiras, mas a mais usual é aquela quanto ao material que é constituído, sendo os principais: Tabuleiro metálico, de concreto ou misto.

Por influenciar no dimensionamento dos outros componentes da ponte, a escolha do tipo de tabuleiro é considerada um critério muito importante no que se diz respeito ao custo da obra. Segundo Vargas (2007), as seguintes quantidades podem ser utilizadas como indicadores: tabuleiro de aço, de 2,5 a 3,5 KN/m<sup>2</sup>; tabuleiro misto, de 6,5 a 8,5 KN/m<sup>2</sup>; e tabuleiro de concreto, de 10 a 15 KN/m<sup>2</sup>.

##### 4.4.1. Tabuleiro Metálico

Os tabuleiros metálicos são uma boa opção na concepção de uma ponte estaiada, pois possuem um bom método construtivo. Ou seja, são rápidos em sua concepção estrutural; têm uma baixa probabilidade de erros em sua construção; são feitos de material leve, podendo ser bem mais esbeltos que os demais tipos de tabuleiros; e transmitem seu peso próprio para os demais elementos, tornando-os mais esbeltos também. Há, contudo, uma desvantagem quanto à utilização deste tipo de tabuleiro: para sua construção, é necessária mão de obra especializada.

##### 4.4.2. Tabuleiro em Concreto

O tabuleiro em concreto, armado ou protendido, é, atualmente, o tipo mais usado pelos calculistas e projetistas. Esse tipo de tabuleiro pode ser moldado *in loco* - quando a peça estrutural é concretada no local da obra -, ou pode ser em concreto pré-moldado - nesse caso, a ponte pode ser construída por balanço sucessivo. Em ambos os casos, o processo construtivo é mais simples se comparado ao tabuleiro metálico.

Uma vantagem do tabuleiro em concreto é no aspecto econômico, pois ele é muito mais barato do que os demais materiais. Esse tabuleiro é, contudo, muito mais

pesado, o que faz com que as peças de concreto sejam mais rígidas e, conseqüentemente, mais volumétricas. É importante, portanto, comparar preço e volume antes de orçar uma obra. Em questão de durabilidade, o concreto se sobrepõe perante os outros materiais, e, por isso, tem menor necessidade de vistorias e reformas.

#### 4.4.3. Tabuleiro Misto

O tabuleiro misto, como o próprio nome diz, é a união do concreto com o aço. São peças que, geralmente, possuem a laje em concreto e as vigas (longarinas e transversinas) em aço. Em se tratando de instabilidade, Walther et al (1985) critica esse tipo de estrutura ao colocar que “pontes com seções mistas não são uma boa concepção estrutural, pois as vigas longitudinais em aço estão submetidas a elevadas tensões de compressão, que são acentuadas pela fluência e retração da laje do tabuleiro, podendo causar problemas de instabilidade local”. Dessa forma, levando-se em consideração que o concreto resiste bem à compressão e o aço à tração, é preferível usar concreto em peças que são comprimidas (lajes e longarinas) e aço em peças que são tracionadas (transversinas e contraventamentos).

#### 4.5. Torres (Pilares)

As dimensões das torres são diretamente interligadas com as dimensões dos demais elementos da ponte estaiada. Torres que estejam trabalhando em conjunto com tabuleiros mais rígidos tendem a ser mais esbeltas, pois não há tanta solicitação com os momentos fletores atuantes, combatidos pelo próprio tabuleiro. Do contrário, pontes com torres mais rígidas tendem a se configurar com tabuleiros mais esbeltos e maior quantidade de *estais*, pois os *estais* irão aliviar os esforços no tabuleiro.

A altura da torre é influenciada pela configuração dos *estais*, já que dependendo de sua altura, a angulação varia. Torres com alturas elevada implicam em *estais* mais verticalizados. Um fator que influencia na concepção da altura das torres é o comprimento do vão que se quer vencer. Geralmente, a altura da torre está ligada a determinado percentual do comprimento do tabuleiro, que pode variar de 20% a 25% do vão a ser vencido.

Existem dois tipos de torres usadas atualmente pelos projetistas: as torres com um único mastro ou as torres com dois mastros. A torre de mastro único pode ter, além da linha única de cabos, dois planos de cabos, dependendo dos esforços aplicados a mesma. A seção transversal é definida levando-se em consideração a força normal aplicada à torre; geralmente, a seção é transversal do tipo caixão, com paredes mais esbeltas ou rígidas, dependendo do carregamento vertical.

Em se tratando de condições de apoio das torres, podemos citar três tipos mais usuais:

- Torre fixa na base: Geralmente esse tipo de torre gera elevados momentos fletores em sua base, o que acarreta em seções mais rígidas se comparadas aos demais tipos.
- Torre fixa à superestrutura: Esse tipo de apoio é feito, normalmente, em pontes com um único plano de *estais*. É usada com tabuleiros em seção caixão, onde a mesma é fixada.
- Torre articulada na base: A articulação, feita no sentido longitudinal da ponte, tem como objetivo gerar momentos fletores menores na torre e, conseqüentemente, atribuir à mesma seções mais esbeltas. Esse tipo de apoio é feito, normalmente, quando se tem um solo de fundação muito ruim.

#### 4.6. Estais

Os *estais* são os elementos responsáveis por transferir os esforços atuantes no tabuleiro para a torre. Sua configuração é composta por:

- Sistema principal de tensionamento: barras, fios, cordoalhas e cabos.
- Sistema de ancoragem: tubo guia, amortecedor e desviador.
- Itens e materiais de proteção: galvanização, cera, bainha e tubos.

O sistema de tensionamento é a parte mais importante dos estais. São eles que impõem ao tabuleiro as reações contrárias necessárias para a estabilidade global da estrutura.

##### 4.6.1. Barras

As barras são elementos que têm como finalidade serem tracionadas. As pontes estaiadas podem ter uma configuração de barras únicas ou um conjunto de barras paralelas entre si.

##### 4.6.2. Fios

Os fios são os componentes principais para a montagem dos cabos e cordoalhas.

##### 4.6.3. Cordoalhas

A cordoalha é o conjunto de fios circundantes, com uma configuração helicoidal a um fio central, podendo ter uma ou mais camadas.

##### 4.6.4. Cabos

Assim como as cordoalhas, os cabos são um conjunto de cordoalhas circundantes, também com uma configuração helicoidal a outra cordoalha. Essas cordoalhas também podem estar dispostas em uma ou mais camadas.

A ponte estaiada é, portanto, uma estrutura com varias possibilidades de configuração dos seus elementos. Cabe ao projetista da ponte combinar tais elementos de maneira a ter uma estrutura que melhor se comporte as ações e adversidades impostas.

## 5. PONTE ESTAIADA DA BARRA DO KWANZA

### 5.1. Mapa de Situação

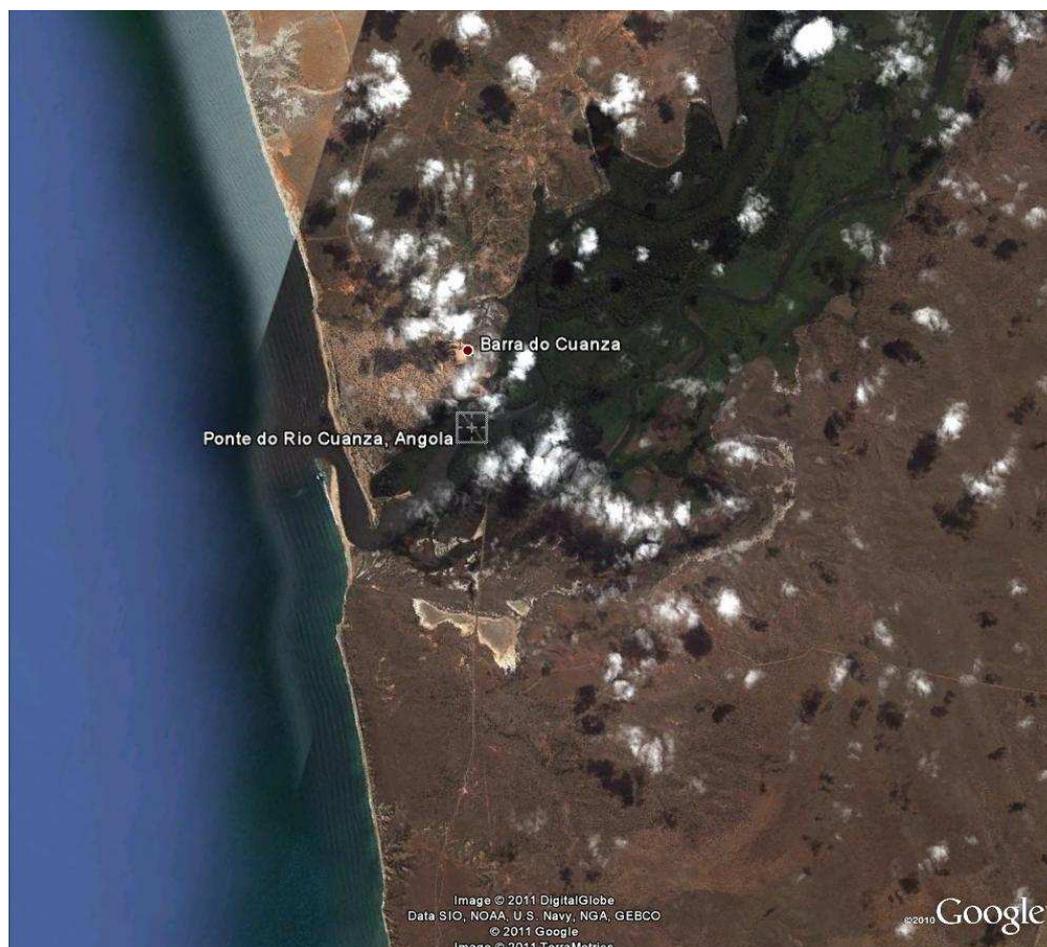


Figura 7 Vista de satélite da região: Localização da Ponte sobre o Rio Kwanza



Figura 8 Vista de satélite da Ponte sobre o Rio Kwanza

## 5.2. Histórico da Ponte de Kwanza

A ponte de Barra de Kwanza, que liga a província de Luanda à província de Bengo, foi construída entre 1970 e 1975 utilizando cabos estaiados ancorados em duas torres. Infelizmente, as obras foram feitas em condições ruins, deixando poucas indicações sobre os detalhes de ereção, estrutura e construção. Nos anos seguintes, devido à guerra civil, não foi possível dar a manutenção adequada à estrutura e, além disso, a ponte passou por um tráfego anômalo de tanques militares, o que conduziu a cargas e tensões imprevistas. Estes fatores podem ter levado a ruptura de um cabo em 1990.

A intervenção denominada “Reabilitação” ocorreu em 2001-2002, sendo constituída do reparo e reforço do topo das torres, colocando um novo sistema de sela em aço; colocação de ancoragens e cabos de estais temporários; retirada progressiva de cabos velhos ou danificados; remoção de cabos de estais temporários; ajuste final dos estais, com monitoramento de forças e ações na ponte; e manutenção integral dos elementos em concreto e aço.

A segunda intervenção, denominada “Reforço” ocorreu em 2009 e foi constituída do acréscimo de um cabo ancorado em cada encontro, sendo utilizadas as ancoragens instaladas na Reabilitação de 2001-2002.

## 5.3. Situação Atual

### 5.3.1. Modelo Estrutural

A Ponte é formada por três segmentos, sendo dois laterais estaiados de 180 metros e um central bi-rotulado de 41,60 metros. O tabuleiro é constituído de vigas metálicas mistas e lajes em concreto armado, sendo a estrutura principal formada por quatro vigas metálicas longitudinais, duas de cada lado, apoiadas nos blocos dos pilares e nos apoios intermediários, compostos pelos cabos estaiados. Os dois mastros em concreto armado têm 46 metros de altura e ancoram 6 pares de estais, sendo 4 nos segmentos centrais e 2 nos encontros.

Os aparelhos de apoio são do tipo roletes, que permitem liberdade de rotação e translação horizontal e estão localizados nos blocos dos pilares; e do tipo rótulas, que permitem apenas rotações e estão localizadas nos encontros extremos. A fundação é composta de estacas com 54,00 metros de profundidade, não estando especificado em projeto o seu tipo.

O funcionamento estrutural da ponte consiste no tabuleiro ancorado nos encontros que resistem as forças horizontais, as longitudinais e as transversais, introduzidas no tabuleiro pelos estais. Os mastros são ancorados nos encontros por utilização da continuidade dos cabos do vão central até os encontros.

Os três segmentos têm funcionamento estrutural quase independente um dos outros. O segmento bi-rotulado impede que as cargas sobre um segmento lateral sejam suportadas pelo outro segmento; conforme as cargas rolantes se encontrem sobre um ou outro segmento, este suporta integralmente essa carga. Entretanto, quando as cargas passam sobre as juntas entre a parte central e as laterais, esta transferência é feita de forma súbita, introduzindo esforços dinâmicos adicionais e vibrações com grandes amplitudes indesejáveis como consequência da proximidade entre a frequência de passagem das cargas e as frequências naturais da estrutura.

A estrutura mista em aço e concreto do tabuleiro permitiu uma estrutura leve e esbelta. No entanto, esta esbelteza, associada a não continuidade dos três segmentos e ao reduzido número de tirantes, tornam a estrutura bastante flexível verticalmente e com elevadas vibrações.

### 5.3.2. Tráfego

O projeto da ponte considerou cargas e velocidades inferiores as de utilização atual. Mesmo as cargas regulamentadas pelo SATCC, que são as que devem ser utilizadas em Angola, são insuficientes para as condições de exploração a qual a ponte tem sido submetida. O tráfego é constituído de caminhões, carregados das pedreiras do lado sul, com aproximadamente 80 toneladas e velocidade de 30km/h.

## 5.4. Situação Futura

### 5.4.1. Modelo Estrutural

As modificações propostas à ponte para que a mesma venha a ter sua estabilidade restaurada não modificou de maneira grosseira sua concepção estrutural. Foi pedido um reforço estrutural que proporcionasse uma maior rigidez vertical no vão central, pois com aumento da rigidez do sistema, teremos, também, um aumento nas vibrações verticais da ponte. A ideia mais vantajosa e econômica foi o aumento da quantidade de *estais* e a retirada do vão bi-rotulado, eliminando-se uma das juntas.

#### 5.4.2. Tráfego Proposto

O trem tipo a ser usado corresponde ao atualmente praticado, porém seguindo as recomendações adicionais internacionalmente aceitas de carregamento em 100% nas duas vias para pontes estreitas. A carga estimada é de um veículo de 400 KN para cada 20m em uma via, o que produz uma carga de 20 KN por metro de comprimento. A recomendação sugere que esta carga, para os efeitos desejados, seja transformada em uma carga uniforme. No modelo numérico foi utilizada uma carga de 20,5 KN/m em cada faixa de tráfego, distribuída ao longo da largura útil da ponte.

#### 5.5. Ensaios/Vistorias

A ponte de Barra de Kwanza foi submetida a ensaios não destrutivos e vistorias que visavam dar um parecer técnico. Pela empresa Texeira Duarte, foram avaliadas as condições dos *estais* em geral, determinando se os mesmos tinham condições de permanecer atuando ou se deveriam ser trocados; na vistoria dos engenheiros Armando Rito e Cristina Machado, foram avaliadas as condições que as peças estruturais (Longarinas, Lajes, Torres, etc.) apresentavam no início do projeto e argumentado se as mesmas necessitariam de reforços estruturais ou não.

## 6. MODELAGEM ESTRUTURAL

### 6.1. Introdução ao Software SAP2000

O SAP, abreviação da palavra *Structural Analysis Program*, é um software de análise estrutural que se utiliza do método de elementos finitos com a finalidade de modelar e analisar qualquer estrutura em questão. Na concepção das peças estruturais, o SAP2000 usa elementos de vários tipos, como: barra, tensão (cabos de protensão), cabo, placas e sólidos. Elementos tipo LINK também são utilizados no programa, que tem a finalidade de se aproximar às características de materiais como molas, neoprenes, rótulas, etc.

O carregamento pode ser inserido como cargas pontuais, lineares e superficiais, bem como cargas mais complexas, como é o caso da temperatura, empuxo, carga móvel e sismos. As cargas podem ser agrupadas em combinações para que possa ser feita uma análise em conjunto de tais cargas.

Dentre as análises feitas pelo programa, podemos citar: análise de flambagem - os modos de flambagem linear podem ser encontrados em qualquer carregamento, como também na combinação desses; análise não-linear P-delta e dinâmica; diagramas de momentos fletores, cortantes, torsões, dentre outros são calculados por cada elemento (barra, ponto, casca); verificações das peças estruturais, como também a frequência na estrutura podem ser resumidas em relatórios; etc.

As características (tipo, resistências, constantes, densidades) de cada material são definidas no começo de cada modelagem. O SAP2000 permite criar inúmeros materiais, atribuir materiais diferentes a peças diferentes e fazer estruturas mistas.

## 6.2. Modelagem da Ponte

A obra foi modelada e analisada com o software SAP200. O modelo consiste de vigas principais (longarinas), das vigas secundárias, vigas de travamento, torre e cabos, modelados com elementos do tipo FRAME (barra). A laje foi modelada com elemento tipo SHELL (casca). Já os aparelhos de apoio foram modelados com elemento tipo LINK.

O objetivo de se utilizar um software para modelar a obra são:

- Obter um modelo tridimensional mais próximo do real, otimizando, assim, o uso dos materiais e das características da estrutura e reduzindo o custo global da obra;
- Obter os esforços e deslocamentos devido aos carregamentos aplicados na estrutura para, posteriormente, serem utilizados no dimensionamento e na verificação das peças componentes da obra.

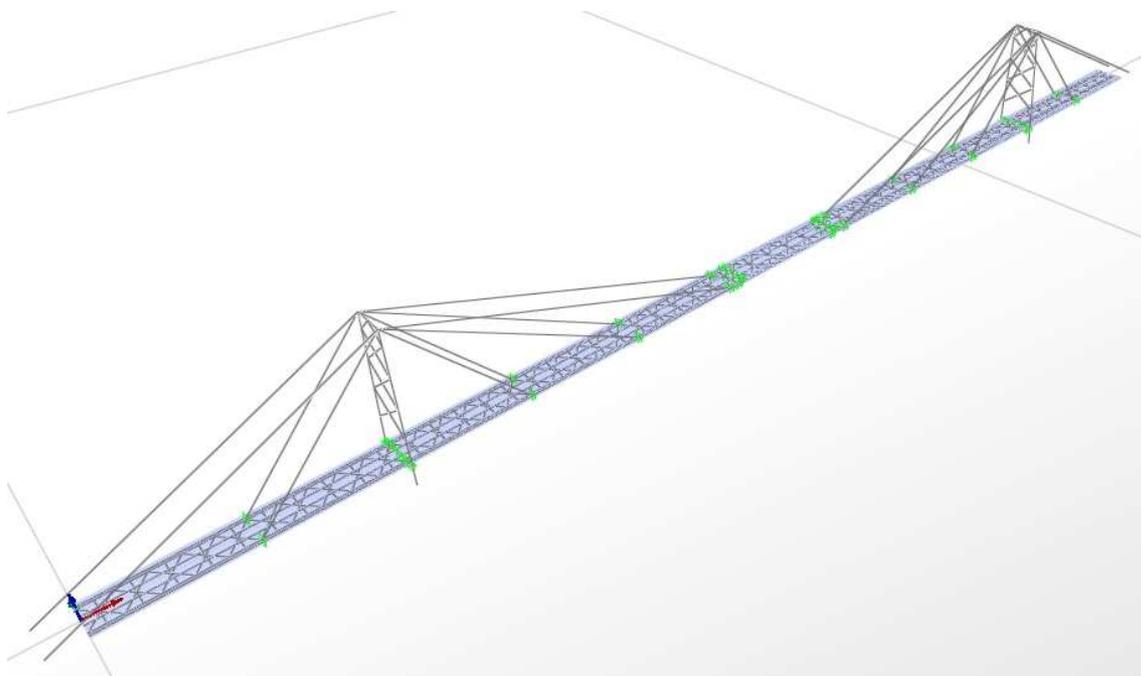


Figura 9 Eixos do Modelo da Ponte Original

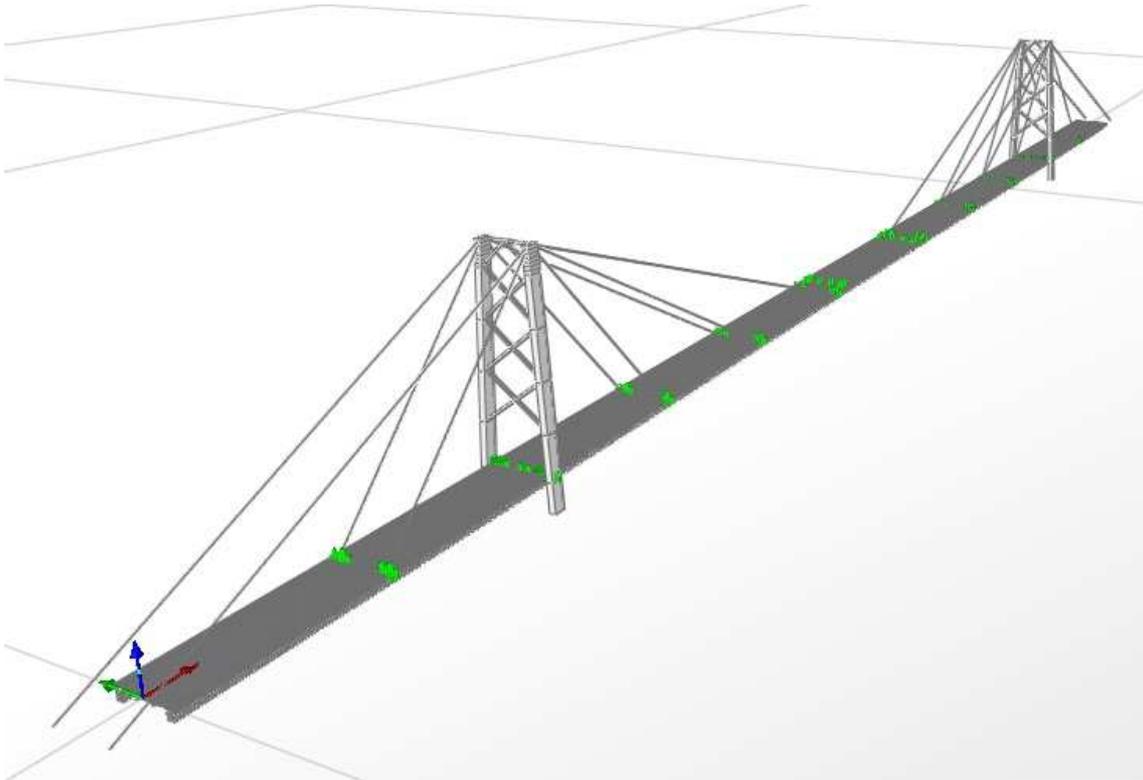


Figura 10 Projeção do Modelo da Ponte Original

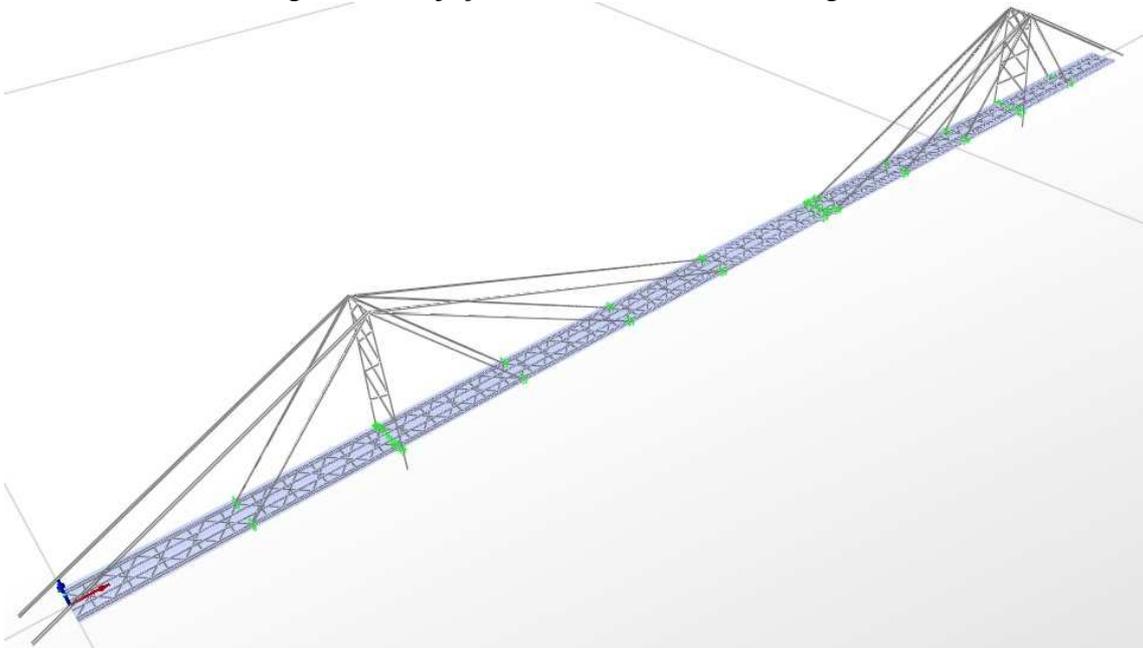


Figura 11 Eixos do Modelo da Ponte Reforçada

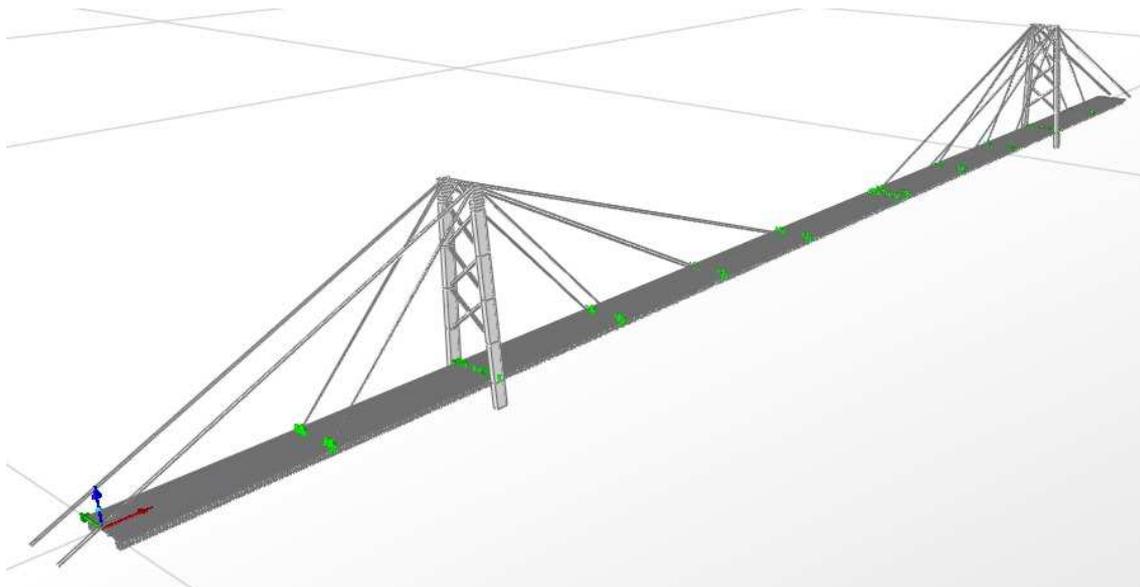


Figura 12 Eixos do Modelo da Ponte Reforçada

### 6.3. Concepção

#### 6.3.1. Ponte Atual

A largura total da ponte é de 11,40 m, sendo subdividida em duas pistas de rolamento com acostamento e duas pistas de passeio; nas laterais, têm-se guarda-corpos e guarda-rodas. A superestrutura da obra é constituída por dois tramos estaiados de 179,20 m e um tramo bi-rotulado de 41,50 m, com dois pares de vigas compostas e duas longarinas. Tanto as vigas compostas como as longarinas são barras metálicas com seção “I”, com 1,60 e 0,44 m, respectivamente. Para o travamento das barras longitudinais, têm-se as Carlingas e as barras de contraventamento, sendo as Carlingas barras com seção “I” e altura de 0,69 m e as barras de contraventamento com seção “T” de 0,19 m. O tabuleiro foi concretado acima das barras metálicas com uma espessura de 0,20 m.

A torre tem uma altura de 46 m e possui dois mastros em concreto armado com seção retangular de 1,25 x 2,35. Os dois mastros são contraventados por barras em concreto de seção quadrada de 0,4 x 0,4 m. As torres ancoram 6 pares de estais, sendo 4 nos segmentos centrais e 2 nos encontros.

Os aparelhos de apoio que estão localizados nos blocos das torres são do tipo roletes e permitem liberdade de rotação e translação horizontal. Já os aparelhos de apoio que estão localizados nos encontros extremos são do tipo rótulas que permitem apenas a rotação.

A fundação adotada para a ponte é em estacas de 54,00 m de profundidade.

### 6.3.2. Ponte Reforçada

A solução proposta para a estrutura da ponte foi a retirada de uma das juntas e a duplicação na quantidade de *estais*. Com isso, a estrutura ficará mais rígida e, conseqüentemente, a sua frequência aumentará. Com o aumento da frequência natural da estrutura, a mesma se distanciará da frequência de passagem das cargas, o que deixará a ponte de Kwanza muito mais estável.

## 6.4. Material

Foi adotado dois tipos de matérias para a concepção da obra: o material metálico nomeado A36 e o concreto C20.

### 6.4.1. A36

O material que vai constituir as peças metálicas foi nomeado A36 e tem as características a seguir:

- Densidade: 7,849 T/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidade: 20389019 T/m<sup>2</sup>

### 6.4.2. C20

O concreto C20 tem as seguintes características:

- Densidade: 2,5 T/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidade: 2128737 T/m<sup>2</sup>
- Fck: 2000 T/m<sup>2</sup>

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for material A36. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' set to 'A36' and 'Material Type' set to 'Steel'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' as 7.849 and 'Mass per Unit Volume' as 0.8004, with units set to 'Tonf. m. C'. The 'Isotropic Property Data' section lists: Modulus of Elasticity, E (20389019); Poisson's Ratio, U (0.3); Coefficient of Thermal Expansion, A (1.170E-05); and Shear Modulus, G (7841930). The 'Other Properties for Steel Materials' section lists: Minimum Yield Stress, Fy (25310.507); Minimum Tensile Stress, Fu (40778.04); Effective Yield Stress, Fye (37965.76); and Effective Tensile Stress, Fue (44855.84). There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

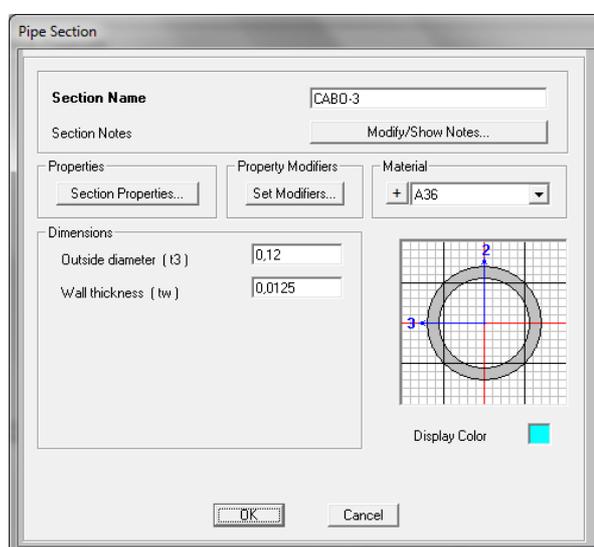
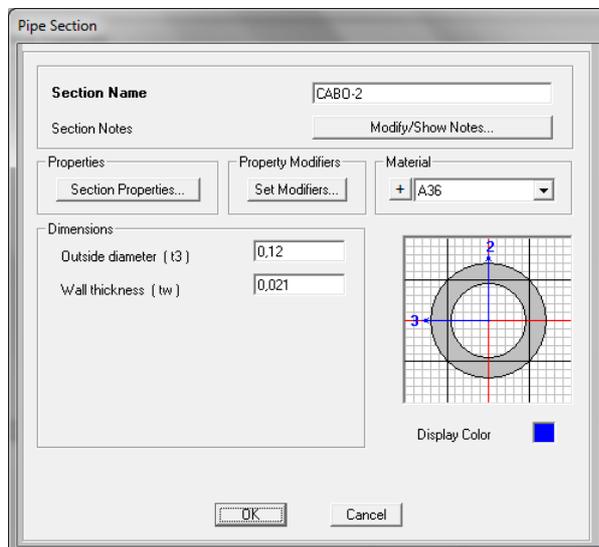
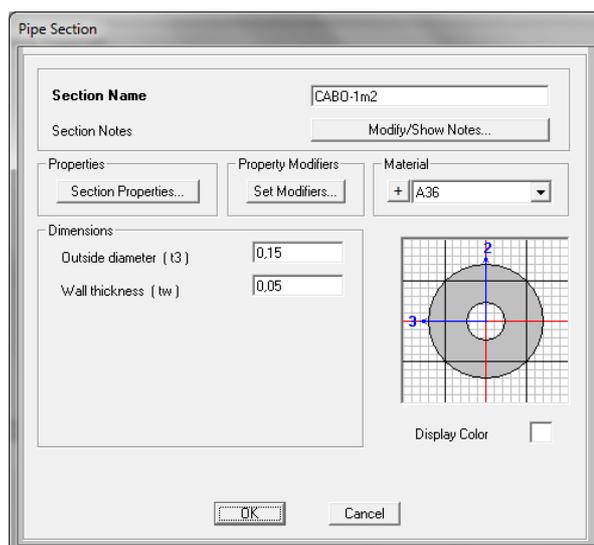
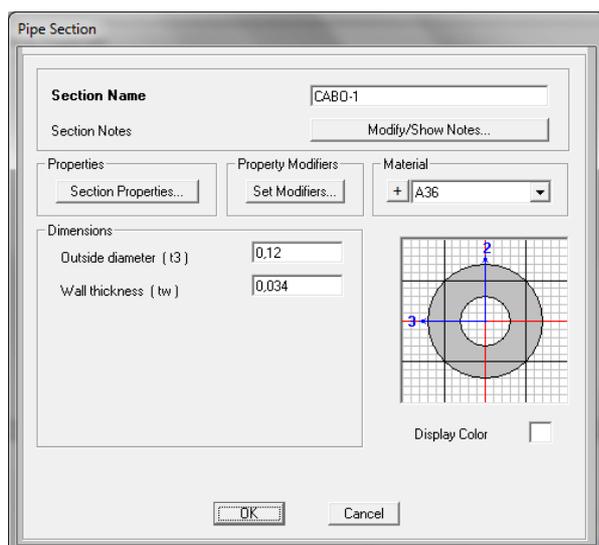
The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for material C20. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' set to 'C20' and 'Material Type' set to 'Concrete'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' as 2.5 and 'Mass per Unit Volume' as 0.2549, with units set to 'Tonf. m. C'. The 'Isotropic Property Data' section lists: Modulus of Elasticity, E (2128737); Poisson's Ratio, U (0.2); Coefficient of Thermal Expansion, A (9.900E-06); and Shear Modulus, G (886973.8). The 'Other Properties for Concrete Materials' section lists: Specified Concrete Compressive Strength, f'c (2000). There is a checkbox for 'Lightweight Concrete' and a 'Shear Strength Reduction Factor' field. There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

## 6.5. Barras (FRAME)

As peças lineares da ponte foram feitas com o elemento tipo FRAME (barras) do SAP. Para cada peça foi definida sua seção e material que as mesmas são compostas.

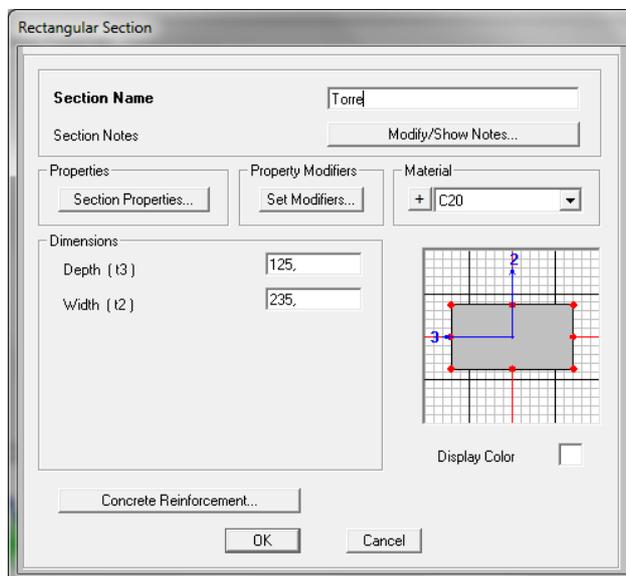
### 6.5.1. Cabos

Os cabos foram modelados como tubos metálicos feitos de aço A36 com diâmetros de 0,12 e 0,15 metros e com sua espessura variando de acordo com o cabo.



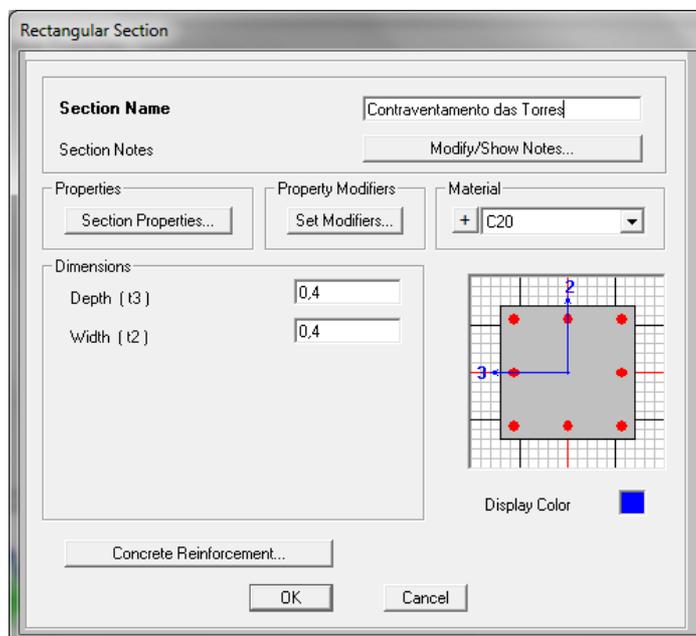
### 6.5.2. Mastros da Torre

O mastro da torre é constituído de uma seção retangular de 1,25 x 2,35 m feita em concreto C20.



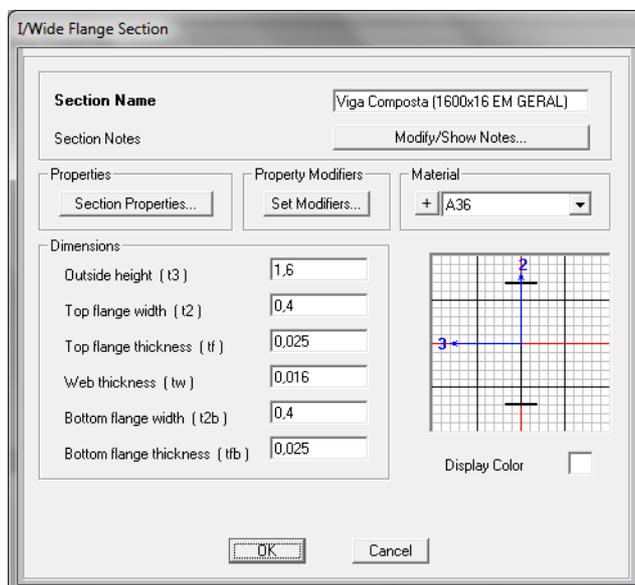
### 6.5.3. Contraventamento da Torre.

O contraventamento, responsável por dar estabilidade aos mastros verticais da Torre, são em seção quadrada de lados 0,4 m; o material usado foi o concreto C20.



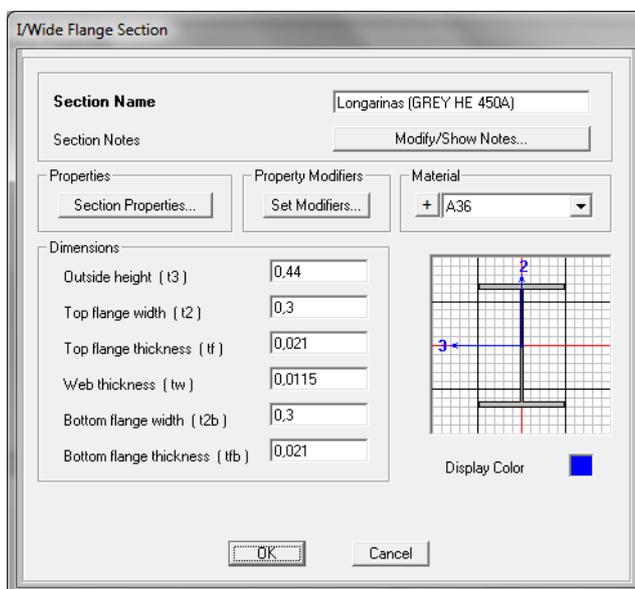
### 6.5.4. Vigas Compostas

As vigas compostas são perfis metálicos, constituídas de aço A36, com seção “I” e alturas de 1,60 m. São usadas em pares unidos pelo centro da alma e ancoram os *estais* da ponte.



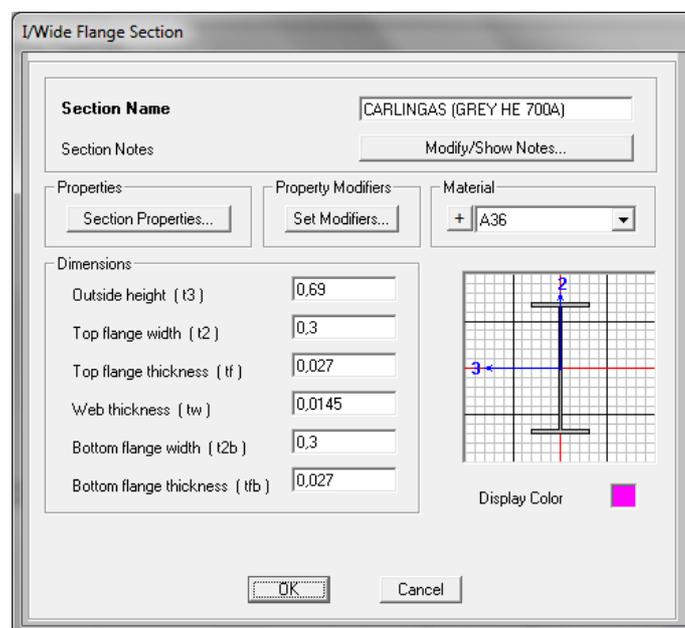
### 6.5.5. Longarinas (GREY HE 450A)

As longarinas são os perfis longitudinais situados na parte central do tabuleiro. São perfis “I” com altura de 0,44 m e feitas de aço A36.



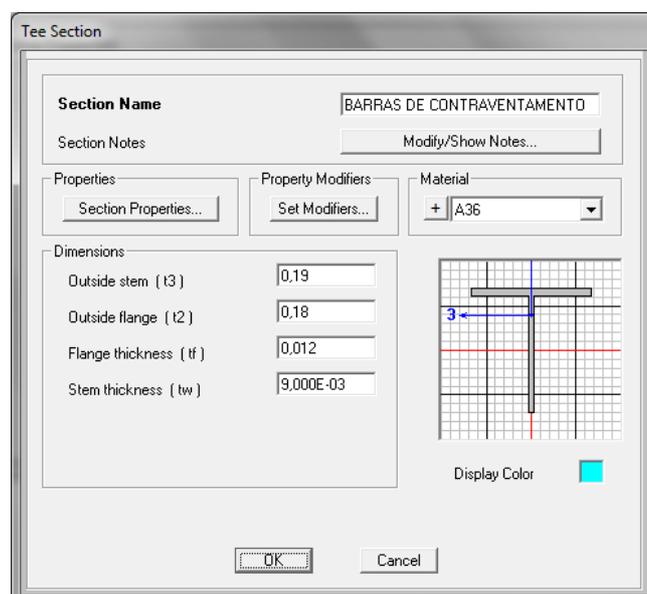
### 6.5.6. Carlingas (GREY HE 700A)

As carlingas são as vigas transversais ao tabuleiro. Elas são responsáveis pelo travamento das longarinas e vigas compostas. O perfil utilizado tem seção “I” e altura de 0,69 m. O material das carlingas é o aço A365.



### 6.5.7. Barras de Contraventamento

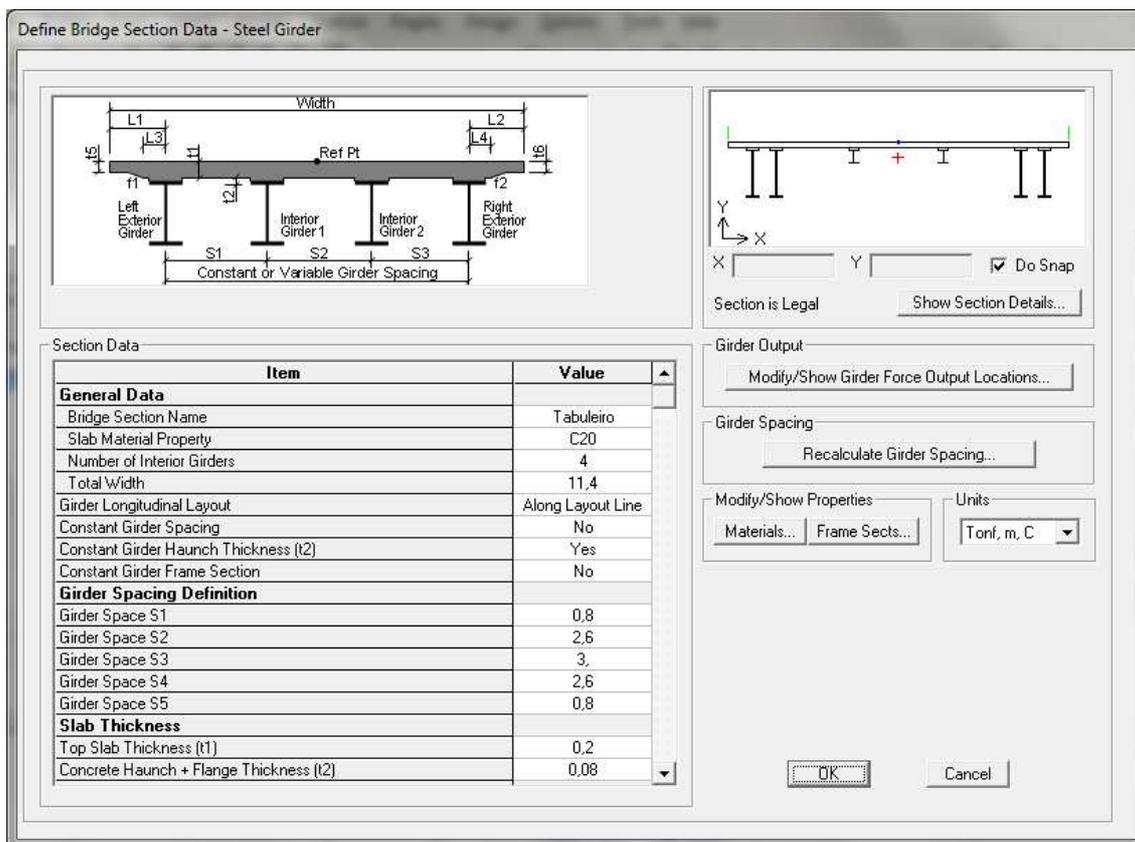
Como o próprio nome diz, essas vigas têm como finalidade contraventar as peças longitudinais do tabuleiro, dando mais estabilidade para a estrutura. O perfil utilizado foi o tipo “T” com altura de 0,19m e o material é aço A36.



## 6.6. Cascas (SHELL)

### 6.6.1. Tabuleiro

O tabuleiro misto é a peça estrutural que recebe diretamente os carregamentos e distribui os esforços para as demais peças. Foi modelado utilizando-se o modo bridge do SAP2000. Sua espessura é de 0,20 m e é seccionado por juntas de dilatação entre os tramos estaiados e o tramo bi-rotulado. A laje é de concreto C20 e a parte metálica é formada pelas barras definidas no item anterior.



### 6.7. Aparelhos de Apoio (LINK)

Os aparelhos de apoio foram modelados com elemento tipo LINK e definidos suas condições de apoio (rotação e translação). O aparelho de apoio tipo rolete, os que estão inseridos no bloco das torres, permite a rotação da peça e a translação horizontal da mesma. Já as rótulas, que estão localizadas nos encontros extremos, permitem apenas as rotações.

**Bridge Bearing Data**

Bridge Bearing Name:  Units:  ▾

Bridge Bearing Is Defined By:

Link/Support Property

User Definition

User Bearing Properties

DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Vertical (U1)	Fixed	
Translation Normal to Layout Line (U2)	Fixed	
Translation Along Layout Line (U3)	Fixed	
Rotation About Vertical (R1)	Free	
Rotation About Normal to Layout Line (R2)	Free	
Rotation About Layout Line (R3)	Free	

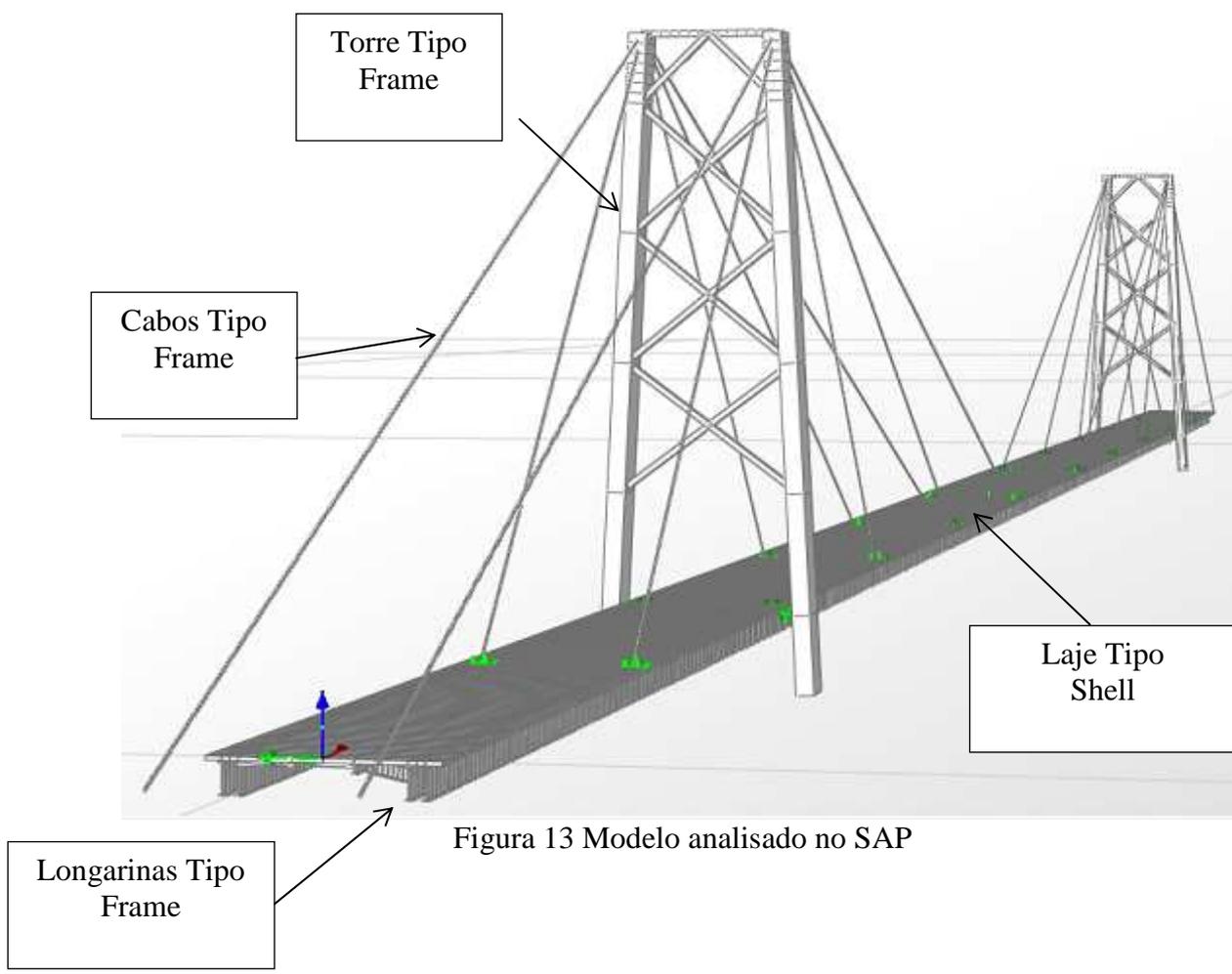


Figura 13 Modelo analisado no SAP

## 6.8. Modelo Estrutural Existente.

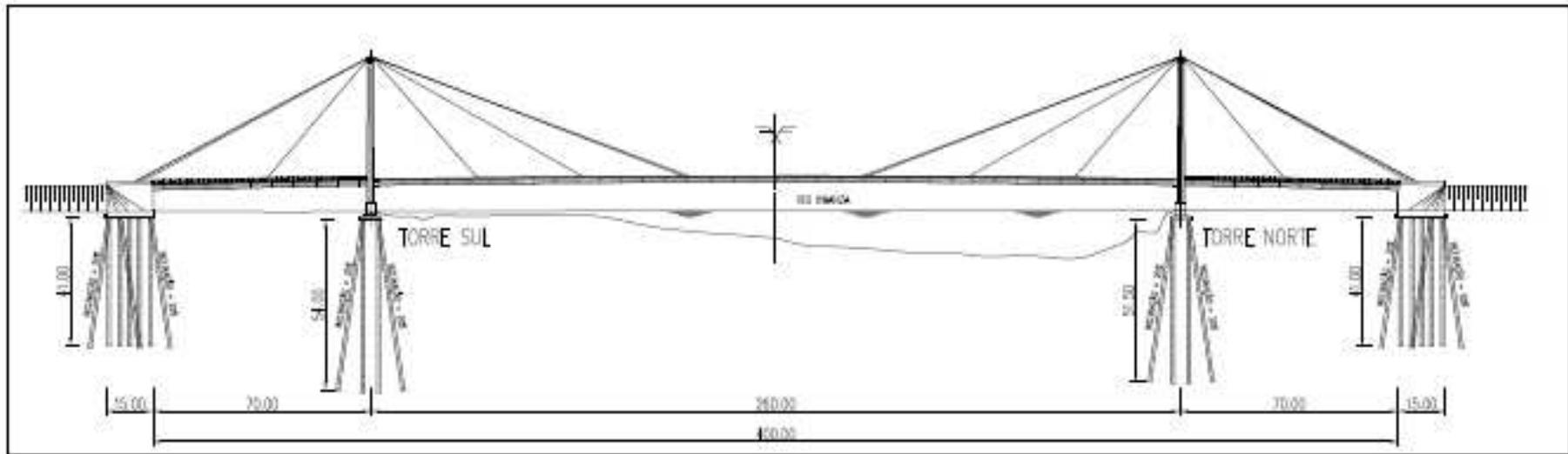


Figura 14 Seção Longitudinal da Ponte

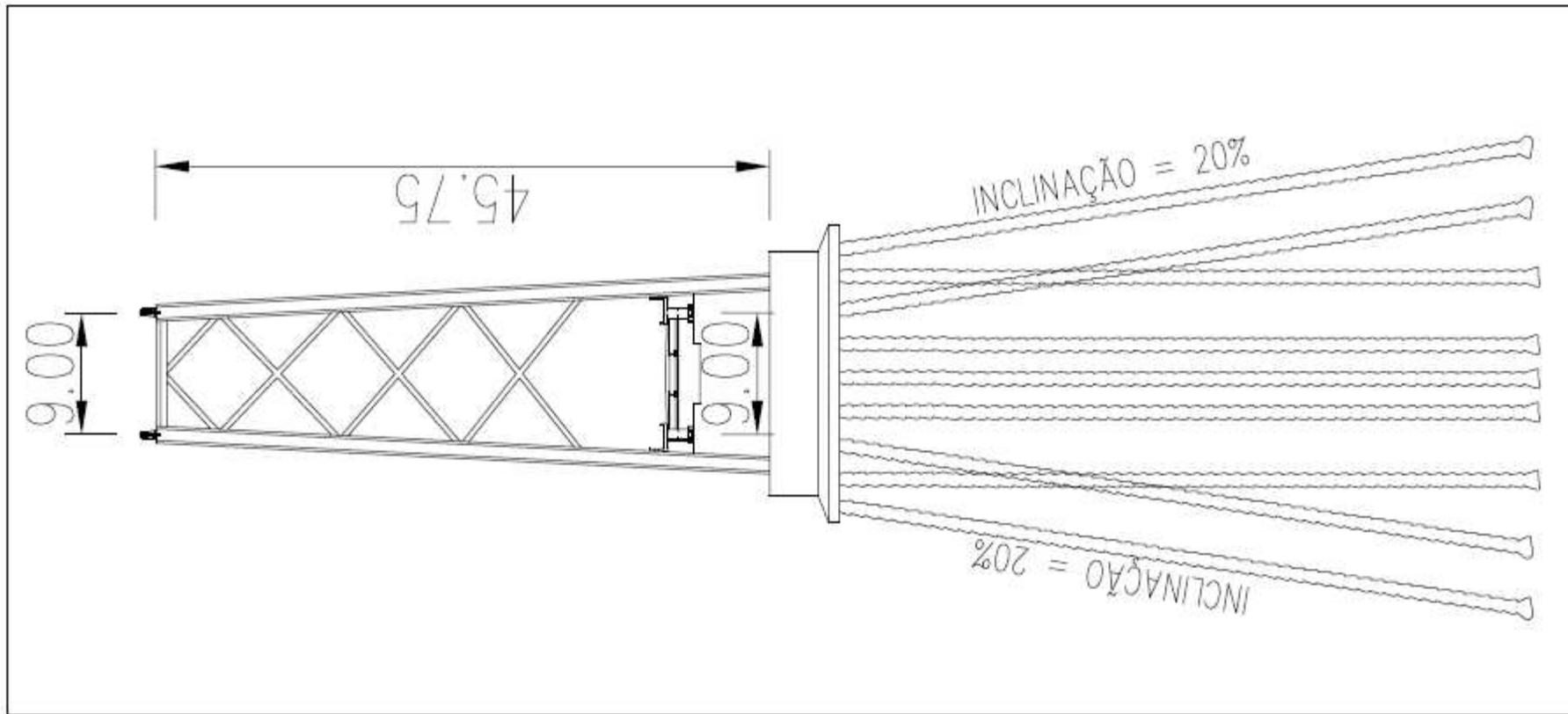


Figura 15 Seção Transversal da Ponte

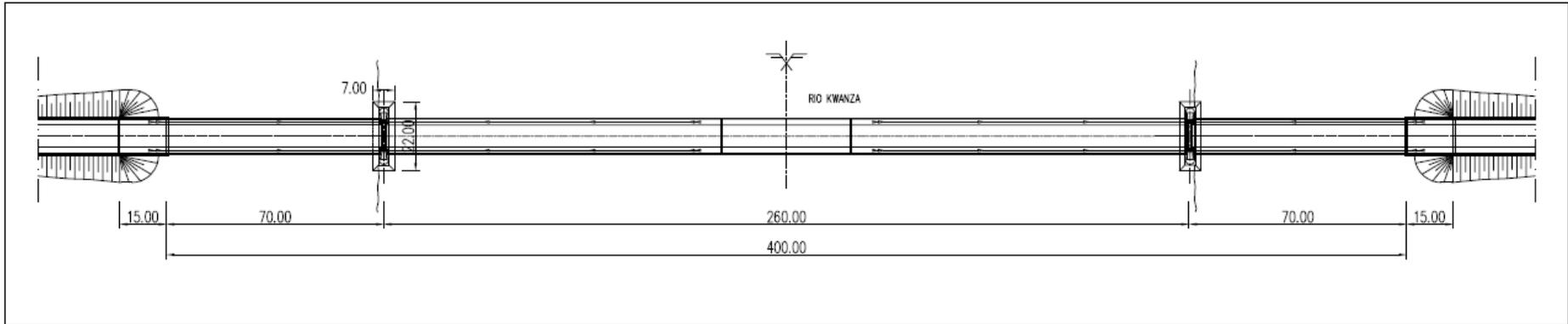


Figura 16 Planta Baixa da Ponte

## 6.9. Cargas Utilizadas

No modelo estrutural do SAP2000 foram inseridas as cargas necessárias para se avaliar o comportamento da ponte como um todo.

### 6.9.1. Peso Próprio

O peso próprio da estrutura é calculado automaticamente pelo software SAP2000, levando em consideração sua geometria e a densidade de cada material estipulada no início do dimensionamento.

### 6.9.2. QC1

A carga QC1 é a carga distribuída ao longo da laje, nos tramos centrais da ponte, para representar o tráfego na estrutura. A carga estimada é de um veículo de 400 KN para cada 20m em uma via, o que produz uma carga de 20 KN por metro de comprimento. A recomendação sugere que esta carga, para os efeitos desejados, seja transformada em uma carga uniforme. No modelo numérico foi utilizada uma carga de 20,5 KN/m em cada faixa de tráfego, distribuída ao longo da largura útil da ponte.

### 6.9.3. Protensões nos Cabos

As forças atuantes em cada cabo dos *estais* foi determinada pelos ensaios feitos por uma equipe de portugueses, Texeira Duarte Engenharia e Construções, que se encontra no final deste documento. No modelo reforçado, as forças aplicadas nos cabos adicionais tem uma intensidade estipulada apenas para manter a linearidade dos cabos e chegar a um percentual de, aproximadamente, 80% do módulo de elasticidade. A protensão dada nos cabos adicionais foi retirada gradualmente pela própria estrutura dos cabos antigos, aliviando os mesmos.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Frequência

As frequências, antes e depois das modificações, são apresentadas nas tabelas abaixo:

Estrutura Atual						
TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	2,151704	0,46475	2,9201	8,527
MODAL	Mode	2	1,811365	0,55207	3,4688	12,032
MODAL	Mode	3	1,655893	0,6039	3,7944	14,398
MODAL	Mode	4	1,362392	0,734	4,6119	21,269
MODAL	Mode	5	1,070064	0,93452	5,8718	34,478
MODAL	Mode	6	1,053387	0,94932	5,9647	35,578
MODAL	Mode	7	0,94881	1,054	6,6222	43,853
MODAL	Mode	8	0,715457	1,3977	8,7821	77,125
MODAL	Mode	9	0,711943	1,4046	8,8254	77,888
MODAL	Mode	10	0,665971	1,5016	9,4346	89,012
MODAL	Mode	11	0,618539	1,6167	10,158	103,19
MODAL	Mode	12	0,586549	1,7049	10,712	114,75

Tabela 1. Período e Frequência da Estrutura Atual

Estrutura Reforçada						
TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,807618	0,55321	3,4759	12,082
MODAL	Mode	2	1,705368	0,58638	3,6844	13,574
MODAL	Mode	3	1,334613	0,74928	4,7079	22,164
MODAL	Mode	4	1,16071	0,86154	5,4132	29,303
MODAL	Mode	5	0,893942	1,1186	7,0286	49,402
MODAL	Mode	6	0,855938	1,1683	7,3407	53,886
MODAL	Mode	7	0,678623	1,4736	9,2587	85,724
MODAL	Mode	8	0,663417	1,5073	9,4709	89,699
MODAL	Mode	9	0,580832	1,7217	10,818	117,02
MODAL	Mode	10	0,573089	1,7449	10,964	120,2
MODAL	Mode	11	0,568306	1,7596	11,056	122,23
MODAL	Mode	12	0,512762	1,9502	12,254	150,15

Tabela 2. Período e Frequência da Estrutura Reforçada

Com o aumento da quantidade de cabos e a retirada de uma das juntas, eliminando o vão bi-rotulado, a estrutura ficou mais rígida, logo sua frequência tende a crescer.

## 7.2. Momento Fletores

Os momentos são dados segundo os diagramas abaixo, cada figura representa um tramo da ponte:

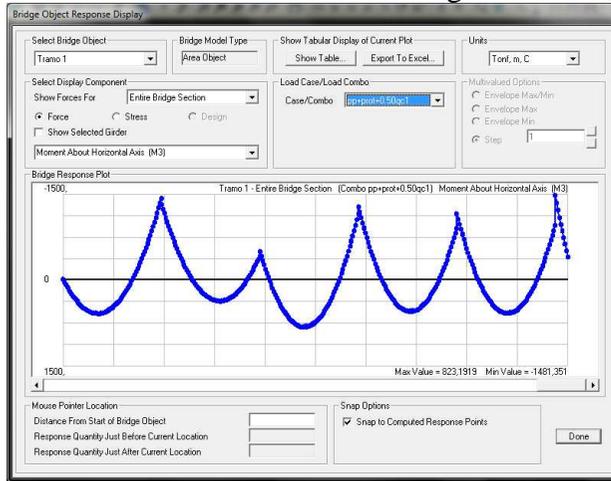


Figura 17 Momento fletor Tramo 1 (Atual)

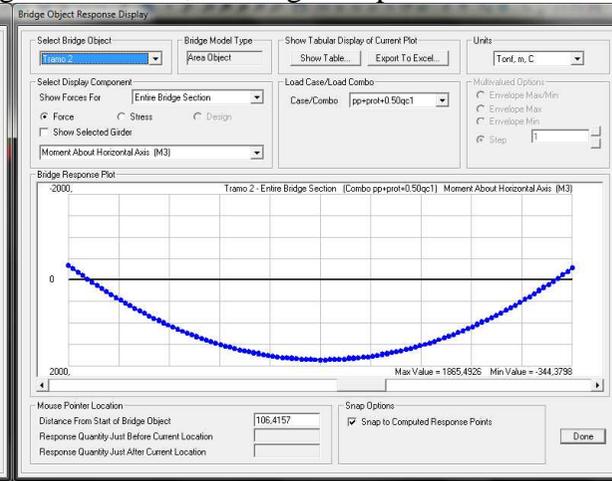


Figura 18 Momento fletor Tramo 2 (Atual)

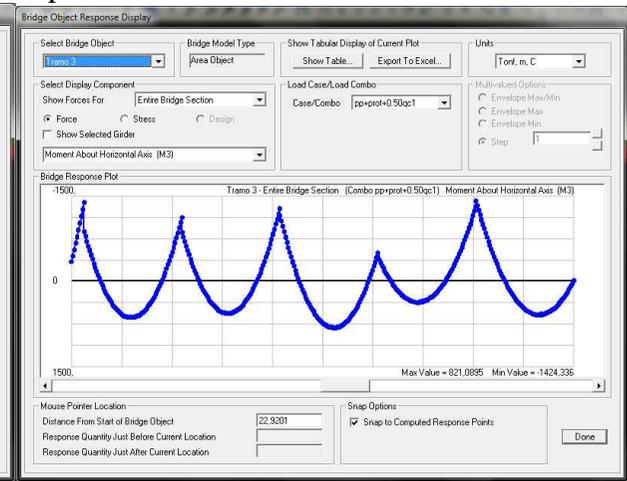


Figura 19 Momento fletor Tramo 3 (Atual)

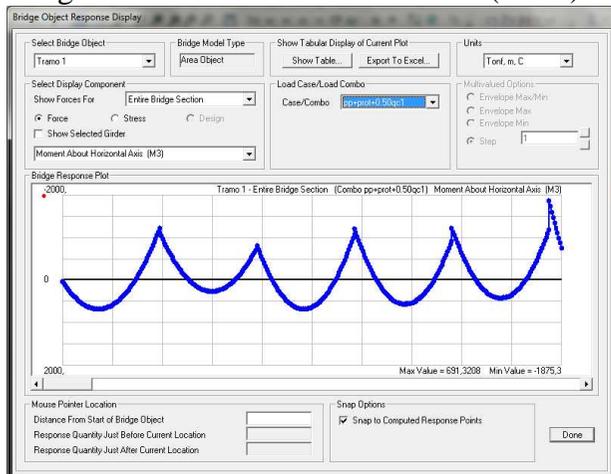


Figura 20 Momento fletor Tramo 1 (Reforçada)

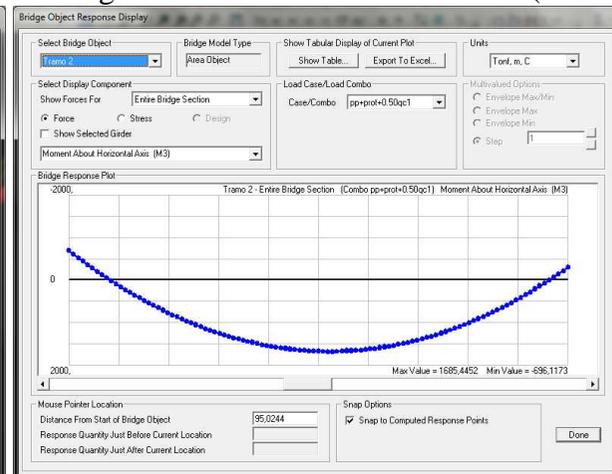


Figura 21 Momento fletor Tramo 2 (Reforçada)

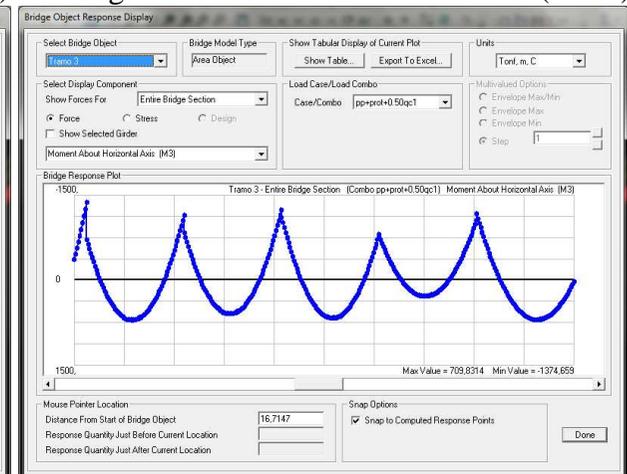


Figura 22 Momento fletor Tramo 3 (Reforçada)

Apoios	Tramos	Momento (Antes)	Momento (Depois)
1	Tramo 1	-1434,727	-1226,478
2		-422,5889	-768,2305
3		-1160,517	-1084,776
4		-905,3389	-926,5469
5		-954,3209	-1190,674
6	Tramo 2	-877,2543	-719,0036
7		-870,2937	-842,3406
8		-1163,868	-1114,263
9		-426,3787	-774,1454
10		-1424,335	-1170,844

Tabela 3. Momento Fletores nos Apoios

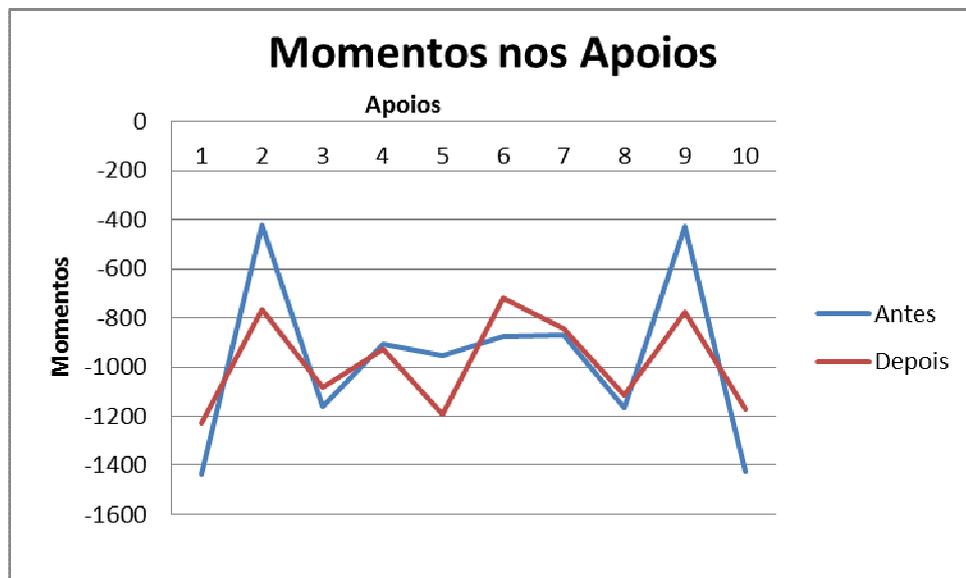


Figura 23 Momentos Fletores nos apoios.

Com o aumento do número de estais, é possível observar uma linearidade no diagrama de momentos nos apoios, ao contrário do anterior, que exibia picos em determinados pontos. Nos pontos onde houve um aumento dos momentos negativos, as longarinas, que resistem diretamente a esses momentos, foram verificadas e constatadas que as mesmas resistem às novas solicitações.

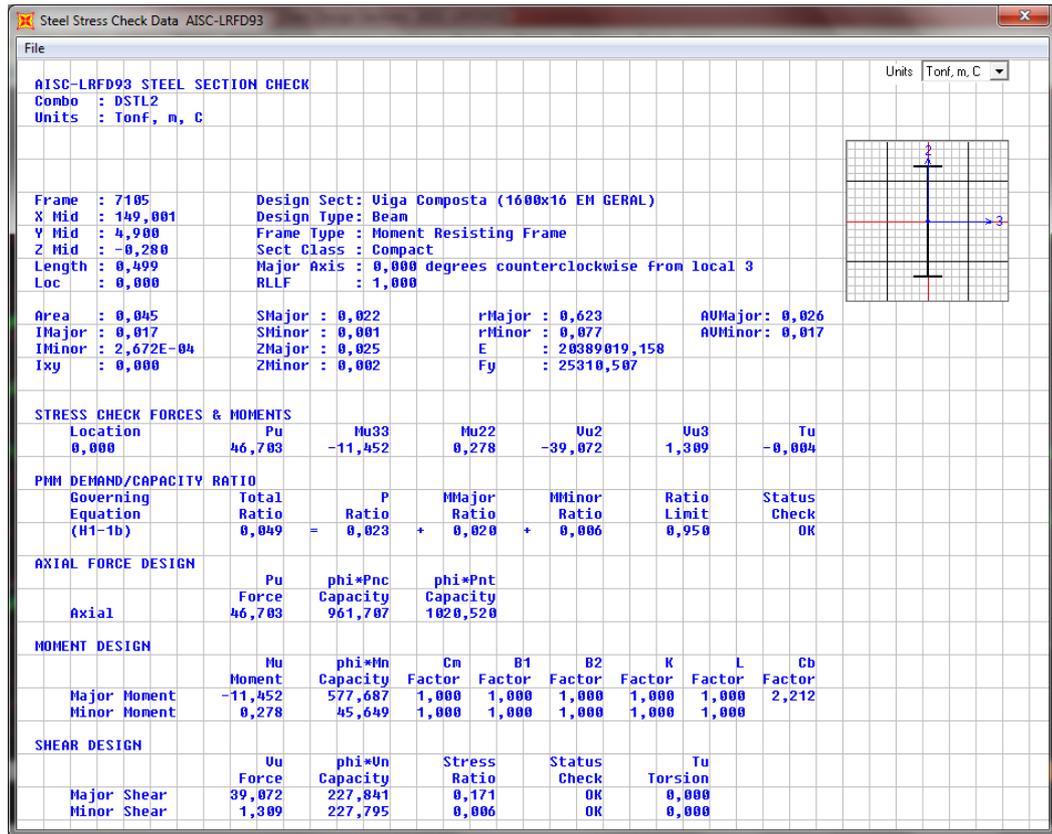


Figura 24 Verificação das Vigas Compostas

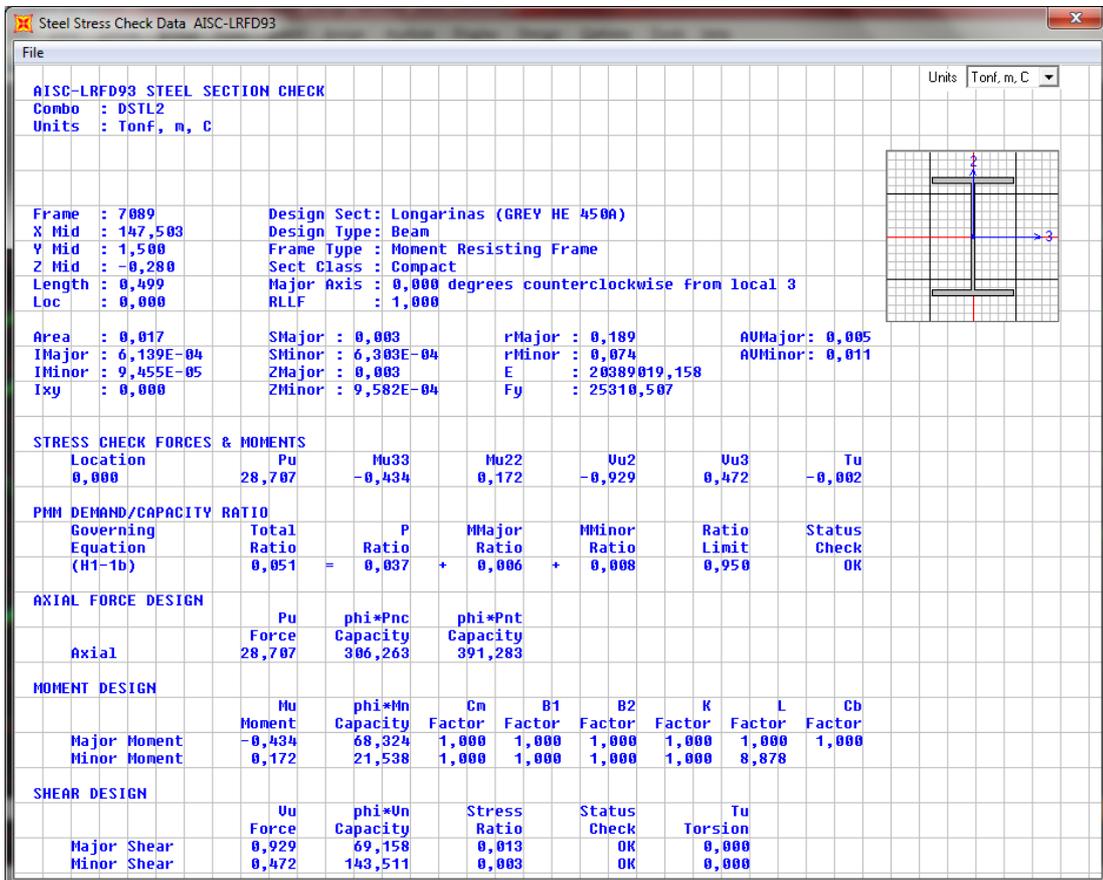


Figura 25 Verificação das Longarinas

### 7.3. Retificação dos Resultados

Nos diagramas de momentos fletores verificou-se que houve uma pequena descontinuidade em cada apoio provocada por um momento adicional. Esse momento foi gerado pelo fato de que, na modelagem, o eixo dos *estais* não estão coincidindo com o centro de gravidade das longarinas, gerando uma excentricidade entre eles e, conseqüentemente, esse acréscimo de momento.

## 8. CONCLUSÃO

As soluções dadas à estrutura da Ponte da Barra do Kwanza foram: a retirada de uma das juntas com a movimentação do tabuleiro central e posterior junção com um dos tabuleiros estaiados; e a duplicação da quantidade de *estais* presentes na estrutura.

A retirada da junta não pode ser feita apenas soldando os dois tabuleiros, pois o comprimento especificado para a dilatação térmica iria diminuir pela metade. Daí a ideia de mover o tabuleiro central para junto de um dos tramos estaiados e sua posterior junção. Com isso, a outra junta duplicou de tamanho e manteve o comprimento pedido para se combater a dilatação térmica na ponte, sem contar que a estrutura ficou mais rígida e já proporcionou um aumento considerável na frequência da ponte.

A solução de se duplicar a quantidade de *estais* foi dada com a finalidade de deixar a estrutura mais rígida e, conseqüentemente, aumentar a frequência natural da estrutura. Com isso, a mesma se distanciou da frequência de passagem das cargas, deixando a estrutura mais estável. Outro benefício foi que, com o dobro de cabos, a tensão atuante nos *estais* antigos foi aliviada.

O diagrama de momentos fletores teve uma leve mudança na sua configuração, passando a ter os momentos nos apoios mais homogêneos. No local onde os momentos negativos aumentaram foram feitas as verificações necessárias nas longarinas, vendo que as mesmas suportam as solicitações sem a necessidade de reforça-las.

Dessa forma, as soluções impostas à Ponte de Kwanza propiciaram o aumento de sua estabilidade global sem implicar grandes mudanças na sua concepção estrutural, facilitando os trabalhos e tornando seu reforço mais econômico.

## 9. BIBLIOGRAFIA

CBPE ARTIGO KWANZA - Análise Numérica do Reforço Estrutural da Ponte de Barra de  
Kwanza

INTRODUÇÃO ÀS PONTES DE CONCRETO - Texto Provisório de Apoio à Disciplina  
SET – 412 - Mounir Khalil El Debs / Toshiaki Takeya

Tese de Mestrado RENATO CLAUDIO: Tipologia das Pontes Estaiadas com Tabuleiro de  
Concreto

VARGAS, L. A. B. Comportamento estrutural de pontes estaiadas: efeitos de segunda  
ordem. 2007. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, São Paulo.

WALTHER, R.; HOURIET, B.; ISLER, W.; MOÏA P. Ponts haubanés. Lausanne: Presses  
Polytechniques Romandes, 1985. 202p.

## **10.ANEXOS**

**RELATÓRIO Nº 1 – 17/09/2009**

**PONTE DA BARRA DO KWANZA**

**OBSERVAÇÕES PRELIMINARES**

OBRA:	<b>10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA</b>
LOCAL:	<b>BARRA DO KWANZA – ANGOLA</b>
DATA:	<b>17/09/2009</b>

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, e conforme solicitado pelo INEA na carta 107/DEPCONST/INEA/09 de 17.06.2009 iniciámos hoje, 17.09.2009 a inspecção à estrutura metálica e tirantes da Ponte da Barra do Kwanza.

Este documento visa apresentar de uma forma breve e preliminar o resultado das primeiras observações efectuadas pela nossa equipa técnica.

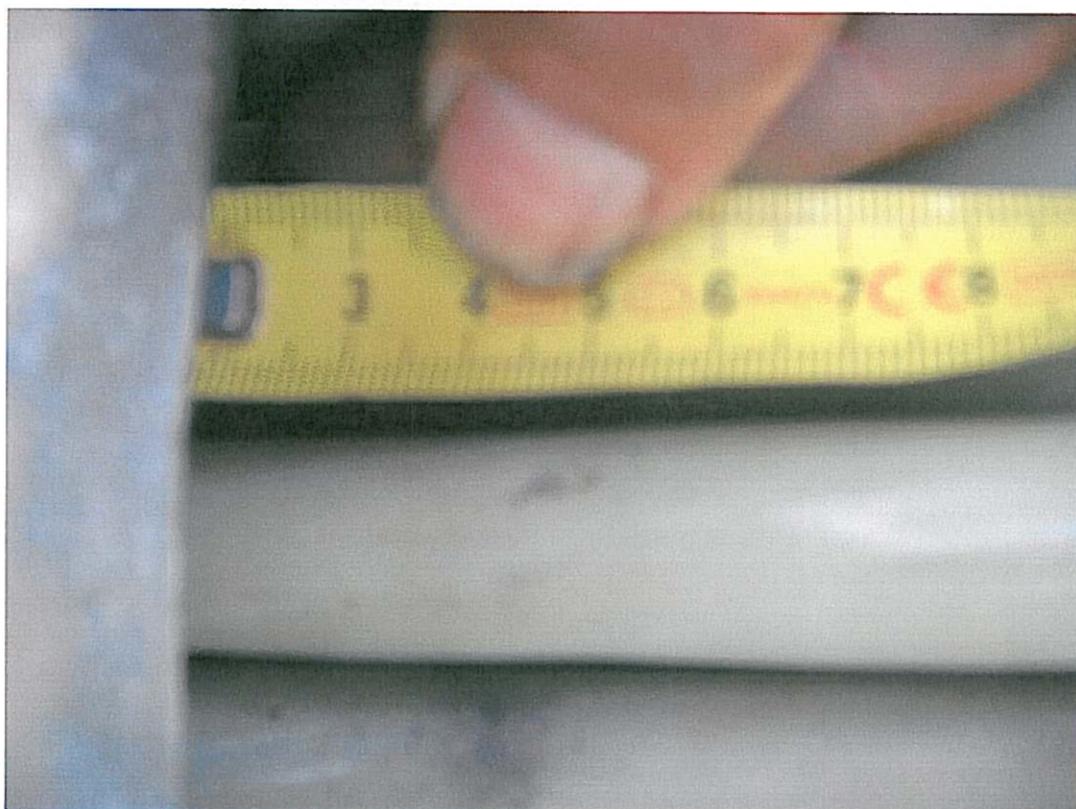
- **Tirante 1 Sul – Jusante**

Após remoção do tubo anti-vandalismo, o amortecedor apresenta-se rodado sob um eixo vertical aparentando que o tabuleiro já sofreu um deslocamento horizontal exagerado no sentido de jusante. Os parafusos de fixação dos anéis metálicos do amortecedor apresentam-se partidos num dos lados do amortecedor.

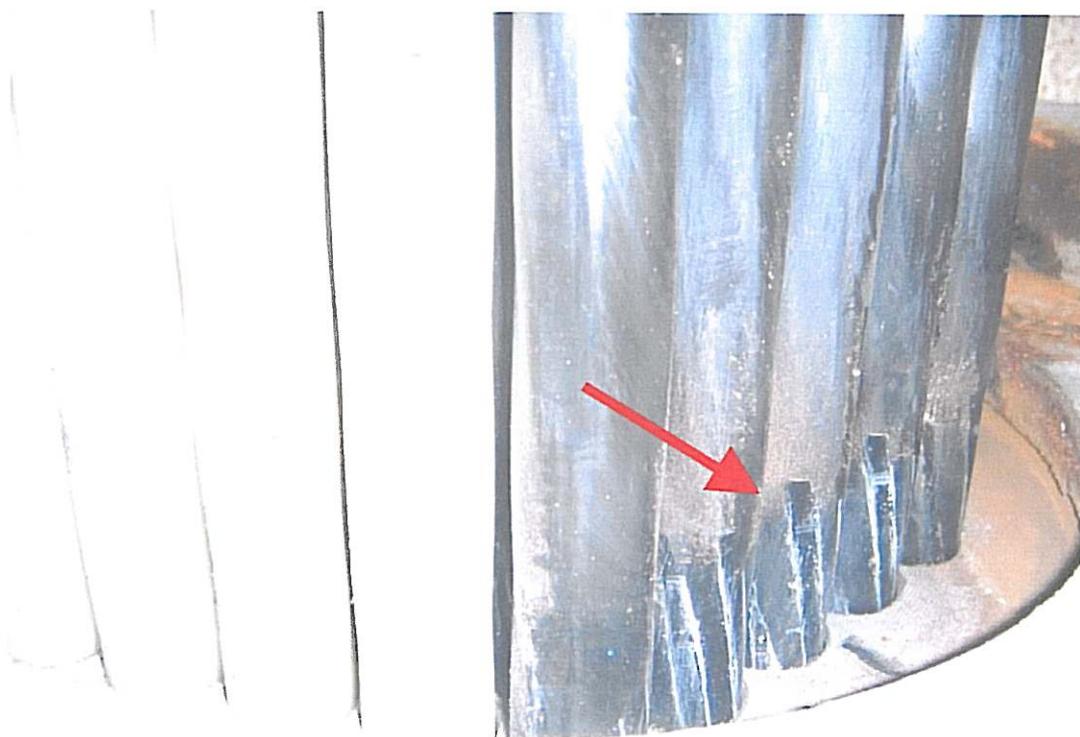
Verifica-se um escorregamento de cerca de 30 a 40 mm dos tirantes relativamente ao amortecedor como se pode ver nas fotos pela superfície riscada.



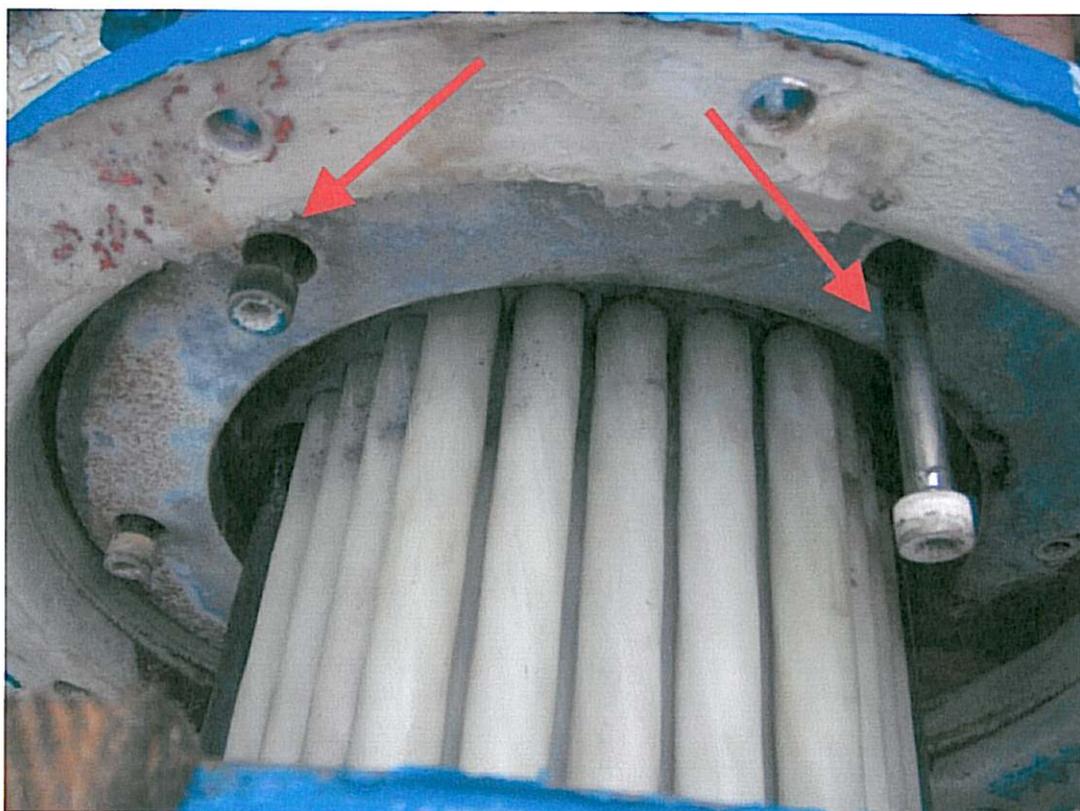
**Foto 1 – Remoção do tubo Anti-vandalismo**



**Foto 2 – Medição da deslocação do cabo em relação ao amortecedor**



**Foto 3 – Deslocação do cabo em relação ao amortecedor**



**Foto 4 – Parafusos partidos no anel de compressão do amortecedor**

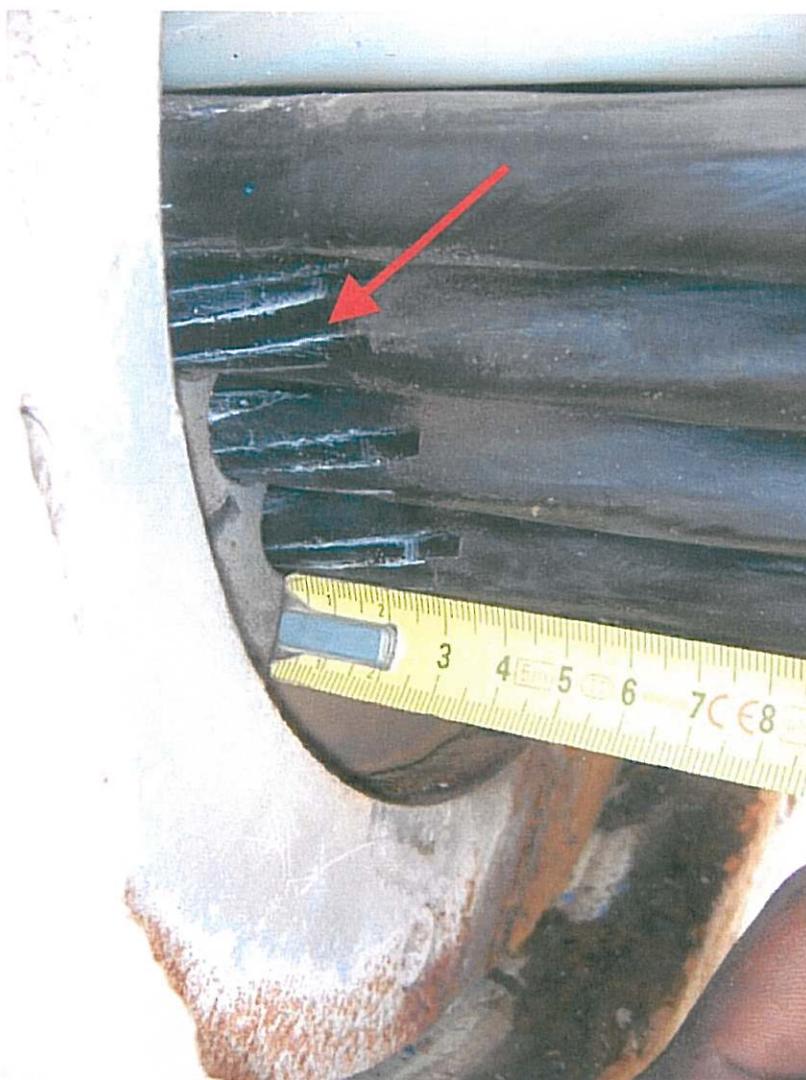


Foto 5 – Medição da deslocação do cabo em relação ao amortecedor (na zona inferior)

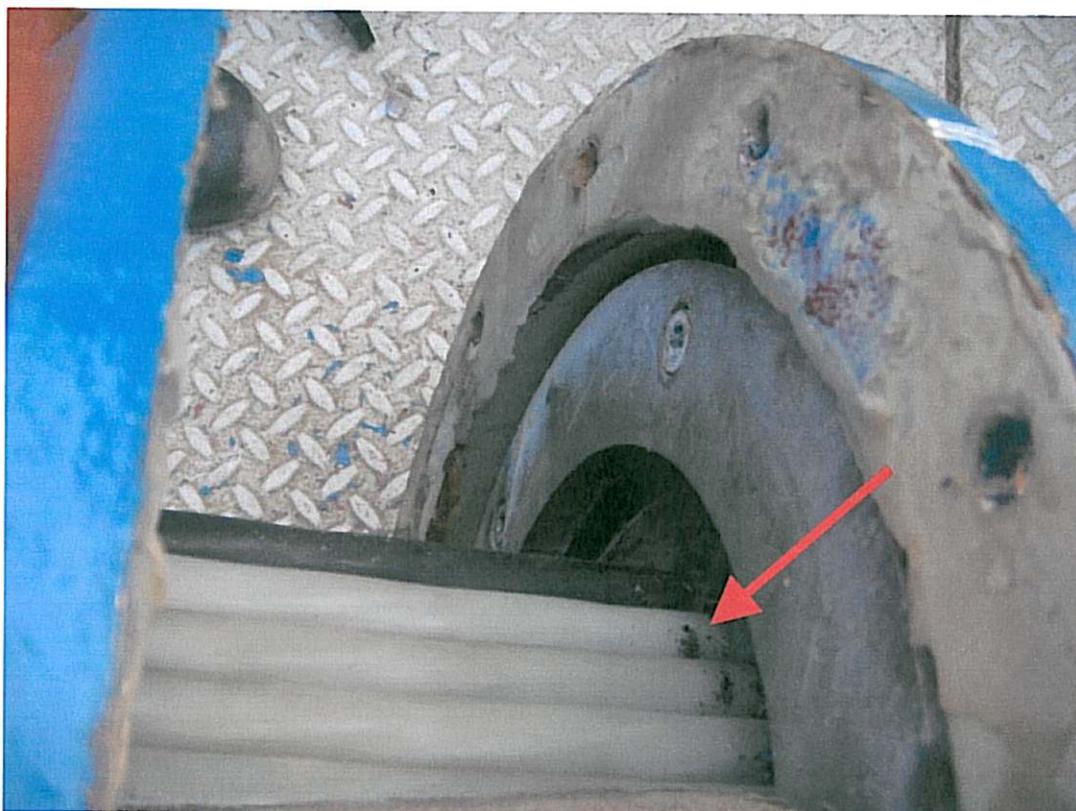
- **Tirante 1 Sul - Montante**

Após remoção do tubo anti-vandalismo verifica-se que este sofreu uma torção no sentido oposto ao do lado jusante. Também aqui se verifica a existência de parafusos de fixação dos anéis metálicos do amortecedor partidos, apresentando inclusivamente sinais de sobreaquecimento dos mesmos a julgar pela cor azulada que apresentam.

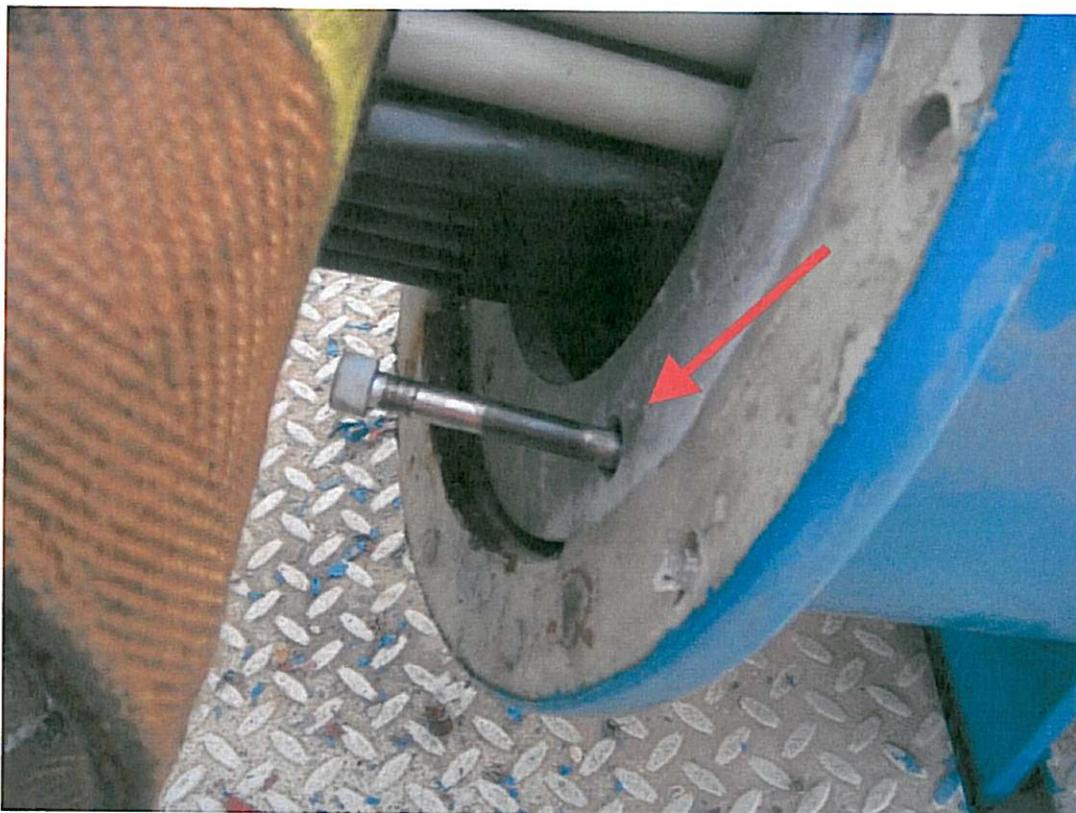
Verifica-se igualmente algum escorregamento dos cabos relativamente ao amortecedor.



**Foto 6 – Remoção do tubo Anti-vandalismo**



**Foto 7 – Deslocação do cabo em relação ao amortecedor**



**Foto 8 – Parafusos partidos no anel de compressão do amortecedor**



**Foto 9 – Deslocação/rotação do disco de compressão do amortecedor**

### NOTAS

NOTA 1: Só poderemos confirmar que existiu realmente escorregamento dos tirantes após análise da ancoragem inferior sob o tabuleiro, e verificação da topografia, a qual ainda não foi feita.

NOTA 2: Embora apenas estivesse prevista a remoção de uma protecção anti-vandalismo iremos face ao verificado hoje estender a verificação a todos tubos anti-vandalismo aos 4 tirantes centrais.

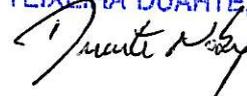
### CONCLUSÃO / RECOMENDAÇÕES

Estas observações preliminares, apesar de não serem conclusivas, indiciam a possibilidade de existirem problemas graves nos tirantes e, por conseguinte de limitações estruturais relevantes.

Face a esta situação e até ser conhecida a verdadeira dimensão dos problemas estruturais da Ponte da Barra do Kwanza, entendemos ser aconselhável, como medida preventiva, proceder desde já ao condicionamento do trânsito de viaturas pesadas ( $P > 5.000$  kg), limitando a velocidade e o número de viaturas pesadas a circular simultaneamente sobre o tabuleiro.

Luanda, 17 de Setembro de 2009

TEIXEIRA DUARTE, S.A.



## OBSERVAÇÕES PRELIMINARES EFECTUADAS EM 2009.09.23

### NA PONTE DA BARRA DO KWANZA

OBRA:	<b>10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA</b>
LOCAL:	<b>BARRA DO KWANZA – ANGOLA</b>
DATA:	<b>23/09/2009</b>

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, e em seguimento dos trabalhos de inspecção da estrutura metálica anteriormente iniciados apresentamos os registo de inspecção efectuada até ao dia 21/09/09.

#### Amortecedor-Nº1-Inferior-Montante-Sul

- Verificou-se que os cabos não se encontram centrados com o tubo de protecção.



- A parte central do amortecedor não se encontra em contacto a borracha num dos lados (comprimido do lado de montante)



- Verifica-se a existência de 3 parafusos partidos do lado de Montante.
- É perfeitamente visível a movimentação dos tirantes relativamente ao eixo do tubo de protecção sempre que se verifica a passagem de veículos pesados.
- Procedeu-se à desmontagem dos parafusos de ligação Manga de protecção/Tubo anti-vandalismo.



- A desmontagem dos anéis de borracha foi apenas possível devido aos deslocamentos provocados por camiões mais pesados.



- O elemento central do amortecedor encontrava-se muito preso aos cabos pelo que não foi possível a sua remoção para o exterior do tubo de protecção e consequentemente impedindo a remoção do anel metálico posterior. No entanto foi possível verificar que o elemento central não apresentava sinais de desgaste excessivo ou deformações (avalização). Na imagem seguinte é possível visualizar o desvio dos cabos relativamente ao tubo de protecção (espaço livre: 7cm) .



- Na foto seguinte é visível o desgaste do lado comprimido devido ao movimento relativo entre o elemento central do amortecedor e os anéis exteriores de borracha, representando aproximadamente 1,5mm de redução da secção.



- Após inspecção dos diversos componentes do amortecedor procedeu-se à montagem do mesmo. Deve ainda referir-se que um dos anéis sofreu um corte durante a fase de desmontagem devido ao movimento dos cabos, no entanto este foi novamente montado, estando a sua posição assegurada pelos parafusos. Foi ainda possível a substituição de um dos parafusos partidos por um com a mesma dimensão mas de resistência superior (12.9).

### **Amortecedor Nº1-Jusante-Sul**

- Os tirantes encontram-se centrados com o tubo de protecção.
- Verifica-se a existência de 3 parafusos partidos do lado de Jusante.
- Com excepção dos parafusos partidos e torção relativa ao tubo de protecção, o amortecedor não aparenta ter outras anomalias.

### **Ancoragem Inferior Nº1-Montante –Sul**

- Foi removida a campânula e desligado o cabo da célula de carga.



- Aparentemente não há qualquer anomalia nos tirantes, apresentando-se todos com sensivelmente o mesmo comprimento.



## **Ancoragem inferior N°1- Jusante-Sul**

- Foi efectuado procedimento de desmontagem idêntico ao tirante de montante.



- As extremidades dos tirantes apresentam diferenças de comprimentos de aproximadamente 40mm
- Com o objectivo de permitir acesso livre à ancoragem e posterior verificação de tensões procedeu-se á remoção de cera por aquecimento. Neste caso na ancoragem N1-J-S. Posteriormente recolocaram-se as coberturas das ancoragens para assegurar a respectiva protecção.



- Visualmente não foram detectadas cunhas de fixação dos cabos defeituosas

## **ESTRUTURA METÁLICA - TRAMO CENTRAL (sem tirantes)**

### **Ligações aparafusadas**

- Iniciou-se a verificação do aperto dos parafusos no tabuleiro central (tramo sem tirantes). Sempre que se detectou alguma irregularidade procedeu-se á reposição do pré-esforço dos parafusos, recorrendo-se á utilização de chave dinamométrica.

Tendo em conta que todos os parafusos estão solidários à respectiva porca por intermédio de um pingo de soldadura este foi removido antes da operação de aperto e posteriormente reposto. Todas as ligações foram inspeccionadas e devidamente identificada, os respectivos resultados detalhados serão posteriormente apresentados em documento próprio.



Verificação de desaperto de parafusos



Reaperto de parafusos (muito pouco frequente)

- Foram verificados por inspeção visual todos os cordões de soldadura da estrutura principal nomeadamente ligações Alma/Alma, Banzo/Banzo, Alma/Banzo, chapas das ligações aparafusadas ligações dos carris dos bailéus e ferfis longitudinais dos passadiços/longarinas principais.
- A verificação de soldaduras por líquidos penetrantes foi executada a 100% nos cordões cujo aspecto visual levantasse duvidas quanto à sua integridade. As restantes foram verificadas por amostragem. Também aqui os registos com localização detalhada e resultados serão posteriormente apresentados em documento próprio.

- Com excepção de algumas soldaduras do carril dos bailéus as quais foram de imediato reparadas, não foram detectadas soldaduras danificadas.



Verificação de soldadura Alma/Alma nas vigas principais



Verificação de soldadura em elementos de ligações aparafusadas

### **APARELHOS DE APOIO**

Foi efectuada uma verificação a todos os aparelhos de apoio para verificação da existência de algum sinal de funcionamento incorrecto ou dano nestes elementos do tabuleiro não havendo sido detectados sinais de desgaste excessivo ou deformações anormais.

Nomeadamente foram verificados os seguintes elementos, que serão alvo de análise mais detalhada no próximo relatório:

- Aparelhos de ligação encontro Sul/tabuleiro
- Aparelhos de apoio sobre o pilar Sul
- Aparelhos de ligação Tabuleiro Sul/tabuleiro central
- Aparelhos de ligação Tabuleiro Central/Tabuleiro Norte
- Aparelhos de apoio sobre o pilar Norte
- Aparelhos de ligação Tabuleiro norte/Encontro Norte

## **Observações:**

### **Amortecedores:**

- De acordo com o definido em reunião de obra, procedeu-se á desmontagem de um amortecedor pelo que optamos por verificar aquele que apresentava maiores deformações, recaindo a escolha no amortecedor N°1-M-S.

- Esta operação demonstrou-se de elevada complexidade e dificuldade tendo em conta o nível de deformação que o amortecedor apresenta e deslocações dos cabos provocados pelo tráfego intenso.

- Futuras inspecções ou reparações destes elementos terão de ser devidamente ponderadas tendo em conta a elevada dificuldade de desmontagem/montagem dos mesmos face à posição actual dos tirantes e tráfego sobre o tabuleiro.

- Sempre que se verificou a circulação de veículos muito pesados na faixa a montante (sentido Sul-Norte) foi possível verificar a centragem perfeita dos cabos relativamente ao tubo de protecção.

### **Ancoragens inferiores:**

- O aquecimento da cera facilita a sua remoção, no entanto para evitar o sobreaquecimento da célula de carga e dos próprios tirantes esta remoção nunca é total junto dos cordões mais interiores.

### **Estrutura metálica:**

- Apenas foram detectados casos pontuais de alívio no aperto de parafusos sendo verificando-se sempre em elementos secundários (travamentos diagonais).

- Relativamente às soldaduras da estrutura não foram detectadas situações anómalas dignas de registo.

-Foram pontualmente encontradas soldadura partidas na ligação entre o carril dos bailéus e a estrutura, as quais foram de imediato reparadas.

## **Conclusões:**

### **Amortecedores:**

- O amortecedor do tirante N°1-Montante-Sul apresenta elevada compressão no sentido de Montante cuja zona comprimida apresenta os respectivos parafusos partidos. Embora não esteja nas condições ideais o amortecedor ainda se encontra a funcionar o que se deverá manter enquanto não se verificar a ruptura dos restantes parafusos (momento em que deixa de haver coesão do conjunto anéis metálicos coroas de borracha e anel central de teflon).

Após desmontagem deste elemento verifica-se que os seus componentes não apresentam desgaste significativo. No entanto os esforço a que foi submetido levaram á ruptura dos três parafusos mais próximos da face comprimida. Estes parafusos foram submetidos a temperaturas elevadas provocados pelo atrito interno do amortecedor e uma vez que apresentam uma cor azulada.

Após montagem de todo o conjunto ficaram garantidas condições mínimas de funcionamento do mesmo.

- Embora não seja tão evidente esta descentragem do amortecedor N°1-Jusante-Sul este também apresenta 3 parafusos partidos podendo o seu funcionamento ser comprometido caso se partam os restantes.

#### **Ancoragens inferiores:**

- A ancoragem inferior do Tirante N°1-M-S não aparenta ter anomalias. Relativamente à ancoragem N°1-J-S esta apresenta diferenças nos comprimentos dos cabos sendo necessário verificar-se a tensão dos mesmos individualmente para análise mais aprofundada.

Nenhuma das ancoragem apresentou cunhas de fixação dos cabos danificadas.

#### **Estrutura metálica:**

##### **Soldaduras:**

- Deu-se início á verificação da integridade da estrutura metálica do tabuleiro com a verificação do tramo central e Tabuleiro Sul, havendo sido detectados apenas alguns defeitos pontuais de soldadura nas ligações do carril dos bailéus com os perfis de ligação á estrutura principal Relativamente á soldadura de ligação do perfil inferior dos passeios com as longarinas principais do tabuleiro, até ao momento não apresentam qualquer defeito a registar.

##### **Ligações aparafusadas:**

- As verificações efectuadas até ao momento também não revelaram situações dignas de registo exceptuando alguns casos pontuais de parafusos sem aperto em elementos secundários (travamentos diagonais).

#### **Aparelhos de apoio:**

- Não foram detectadas situações anómalas nestes órgãos.

Luanda, 23 de Setembro de 2009

**RELATÓRIO Nº3 - 2009.09.28****PONTE DA BARRA DO KWANZA**

OBRA:	<b>10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA</b>
LOCAL:	<b>BARRA DO KWANZA – ANGOLA</b>
DATA:	<b>30/09/2009</b>

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, e em seguimento dos trabalhos de inspecção da estrutura metálica anteriormente iniciados apresentamos os registo de inspecção efectuada até ao dia 28/09/09, relativamente a toda a estrutura metálica do tabuleiro, ancoragens inferiores do sistema de suspensão e aparelhos de apoio.

## **1 ESTRUTURA METÁLICA**

### **1.1 Verificação de Soldaduras**

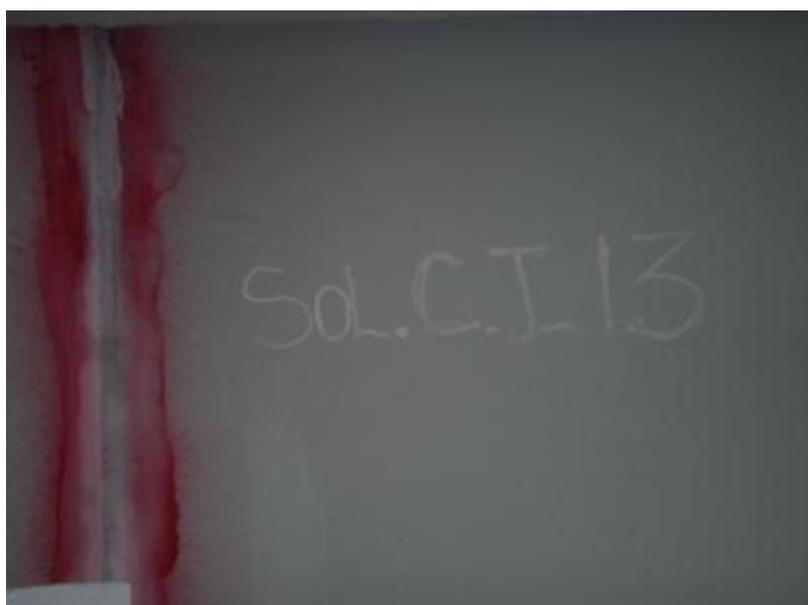
#### **1.1.1 Vão central Suspenso lado Sul**

- Deu-se continuidade á verificação das soldaduras da estrutura metálica do vão central do tabuleiro lado Sul. Também aqui foi feita verificação de soldaduras quer por inspecção visual quer por líquidos penetrantes.

Durante a inspecção não foram detectados defeitos de soldadura reportáveis.



- Verificamos o aparecimento de problemas sistemáticos nas soldaduras do carril dos bailéus junto dos pontos de ligação entre troços destes perfis pelo que tomamos especial atenção nestes pontos.
- Como se pode verificar na soldadura topo a topo entre duas almas das vigas principais, os resultados dos ensaios por líquidos penetrantes não revelam qualquer tipo de defeitos que ponham em causa a estrutura.

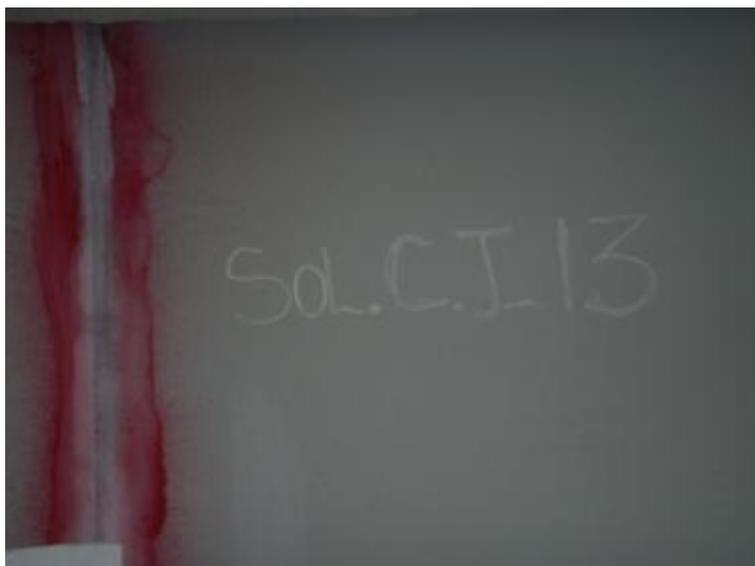


### 1.1.2 Vão Extremo Sul

- Foi terminada a verificação da estrutura metálica no vão extremo sul, não havendo sido encontradas situações de degradação da estrutura metálica, quer a nível de soldaduras quer a nível de aperto das ligações aparafusadas.

### 1.1.3 Vão central Suspenso lado Sul

- Verificamos o aparecimento de problemas sistemáticos nas soldaduras do carril dos bailéus junto dos pontos de ligação entre troços destes perfis pelo que tomamos especial atenção nestes pontos.
- A restante estrutura não apresenta problemas reportáveis.
- Como se pode verificar na soldadura topo a topo entre duas almas das vigas principais, os resultados dos ensaios por líquidos penetrantes não revelam qualquer tipo de defeitos que ponham em causa a estrutura.



### 1.1.4 Vão central suspenso norte

- Não foram detectadas irregularidades nas soldaduras da estrutura principal havendo sido reparadas sempre que necessário soldaduras do carril.



- As inspecções efectuadas ás soldaduras da parte norte do tabuleiro central voltaram a não revelar defeitos reportáveis.



### 1.1.5 Vão Extremo Norte

- As inspecções efectuadas às soldaduras da estrutura do vão extremo norte voltaram a não revelar defeitos reportáveis.
- Foi verificado o ultimo troço da estrutura metálica não sendo encontrados defeitos reportáveis nas soldaduras.

## 1.2 Verificação de ligações aparafusadas

### 1.2.1 Vão central Suspenso lado Sul

- Durante a análise do aperto dos parafusos foram novamente encontrados alguns casos pontuais de aperto incorrecto dos parafusos em elementos secundários de travamento diagonais. Cremos que este aperto se encontra assim desde a montagem inicial da ponte uma vez que todos os parafusos estão soldados à respectiva porca.



### 1.2.2 Vão central Suspenso lado Sul

- Não foram encontrados problemas nestas ligações com excepção em caso pontuais nos elementos secundários.



- Não foram encontrados problemas nestas ligações com excepção em caso pontuais nos elementos secundários.

### 1.2.3 Vão Central Suspenso Norte

- Não foram detectados apertos incorrectos neste nas ligações aparafusadas.
- Mais uma vez foram encontrados alguns parafusos sem o correcto aperto em ligações secundárias. Nas restantes ligações não foram detectadas irregularidades



#### 1.2.4 Vão Extremo Norte

- Mais uma vez foram encontrados alguns parafusos sem o correcto aperto em ligações secundárias. Nas restantes ligações não foram detectadas irregularidades
- Mais uma vez foram encontrados alguns parafusos sem o correcto aperto em ligações secundárias. Nas restantes ligações não foram detectadas irregularidades

## 2 SISTEMA DE SUSPENSÃO

### 2.1 Ancoragem inferior Nº2 Montante Sul

- Foi removida a campânula de protecção e toda a cera envolvente, permitindo verificar a inexistência de situações irregulares com os cabos. Quanto às cunhas de fixação dos mesmos também não foram detectados defeitos.



## 2.2 Ancoragem inferior Nº2 Jusante Sul

Também nesta ancoragem não foram detectados defeitos reportáveis.



## 2.3 Ancoragem inferior Nº3 Montante Sul

Após inspecção visual desta ancoragem não foram detectadas situações anómalas. Mesmo antes da remoção da cera de protecção, o seu estado superficial permite antecipar a inexistência de anomalias com os cabos.



## 2.4 Ancoragem inferior Nº3 Jusante Sul

Também nesta ancoragem não foram detectados defeitos reportáveis nos cabos ou nas respectivas cunhas de fixação.



## 2.5 Ancoragem inferior Nº1 Montante Sul - Extremo (15mm)

Após inspeção visual desta ancoragem não foram encontrados defeitos reportáveis.



## 2.6 Ancoragem inferior Nº2 Montante Sul - Extremo (25mm)

- Nesta ancoragem não foram encontrados defeitos reportáveis



### 2.7 Ancoragem inferior Nº1 Jusante Sul-Extremo (1Sjm)

- Nesta ancoragem não foram encontrados defeitos reportáveis



### 2.8 Ancoragem inferior Nº2 Jusante Sul - Extremo (2Sjm)

- Nesta ancoragem não foram encontrados defeitos reportáveis



### 2.9 Ancoragem inferior N°3 Montante Sul - Extremo (P)

- Mais uma vez verificou-se que quer os cabos quer as cunhas de fixação ou mesmo a célula de carga não apresentam indícios de funcionamento incorrecto.



### 2.10 Ancoragem inferior N°3 Jusante Sul - Extremo (H)

- Nesta ancoragem não foram encontrados defeitos reportáveis



### 2.11 Ancoragem inferior N°1 Montante Norte

- Como se pode verificar pelas imagens seguintes foram detectados problemas nos cabos da ancoragem inferior N°1-M-N, a qual apresentava 2 cabos muito mais longos que os restantes e com sinais de terem sofrido forte impacto no fundo da campânula de protecção tendo em conta o seu nível de deformação.
- Foi ainda identificado um terceiro cabo com sinais de escorregamento relativamente à cunha de fixação pois apresentava um comprimento visível muito inferior aos restantes.





### 2.12 Ancoragem inferior Nº1 Jusante Norte

- Na ancoragem Nº1-J-N não é possível identificar problemas nos tirantes ou nas cunhas de fixação.



### 2.13 Ancoragem inferior Nº1 Montante Norte - Extremo (1Nmm)

- Nesta ancoragem foi detectado um cabo partido danificado o qual demonstra sinais de ter sido projectado contra a campânula de protecção.



#### **2.14 Ancoragem inferior Nº2 Montante Norte – Extremo (2Nmm)**

- Não foram encontrados danos visíveis nos tirantes ou nas cunhas de fixação

#### **2.15 Ancoragem inferior Nº2 Jusante Norte – Extremo (2Njm)**

- Não foram encontrados danos visíveis nos tirantes ou nas cunhas de fixação

#### **2.16 Ancoragem inferior Nº1 Jusante Norte – Extremo (1Njm)**

- Não foram encontrados danos visíveis nos tirantes ou nas cunhas de fixação

#### **2.17 Ancoragem inferior Nº3 Jusante Norte – Extremo (A)**

- Não foram encontrados danos visíveis nos tirantes ou nas cunhas de fixação

### 2.18 Ancoragem inferior Nº3 Montante Norte – Extremo (I)

- Esta ancoragem apresenta 4 tirantes com comprimento substancialmente inferior aos restantes o que poderá indiciar escorregamento dos cabos, o que apenas será confirmado após medição das tenções individuais.



### 2.19 Ancoragem inferior Nº2 Jusante Norte

- Esta ancoragem não apresenta danos visíveis a nível de tirantes ou cunhas de fixação.

### 2.20 Ancoragem inferior Nº3 Jusante Norte

- Esta ancoragem não apresenta danos visíveis a nível de tirantes ou cunhas de fixação.

### 2.21 Ancoragem inferior Nº2 Montante Norte

- Esta ancoragem apresenta um tirante com comprimentos inferior aos restantes pelo que será posteriormente analisada a sua tensão.



### 2.22 Ancoragem inferior Nº3 Montante Norte

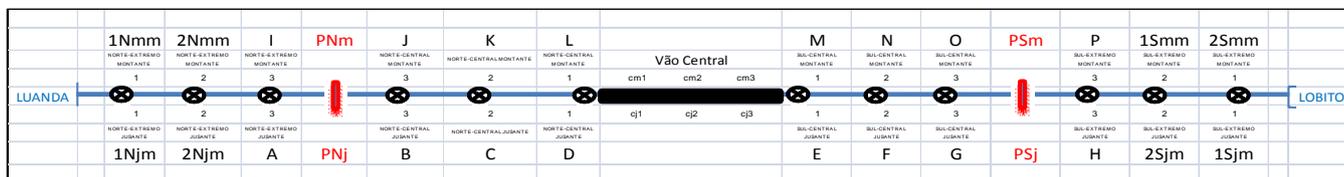
- Esta ancoragem não apresenta danos visíveis a nível de tirantes ou cunhas de fixação.

## 3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

- Foi feito o levantamento topográfico do piso do passadiço junto das flanges de ligação dos tubos anti-vandalismo utilizando como referência pequenas marcas colocadas de forma definitiva para o efeito.



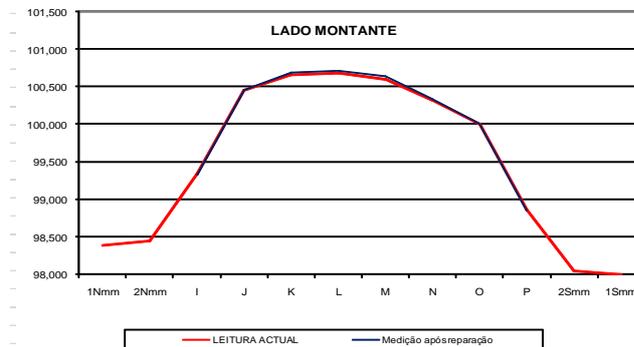
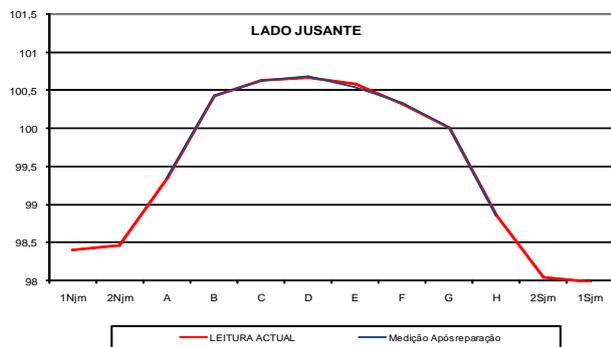
- Após efectuado o levantamento obtiveram-se os seguintes valores.



CONTROLO DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS

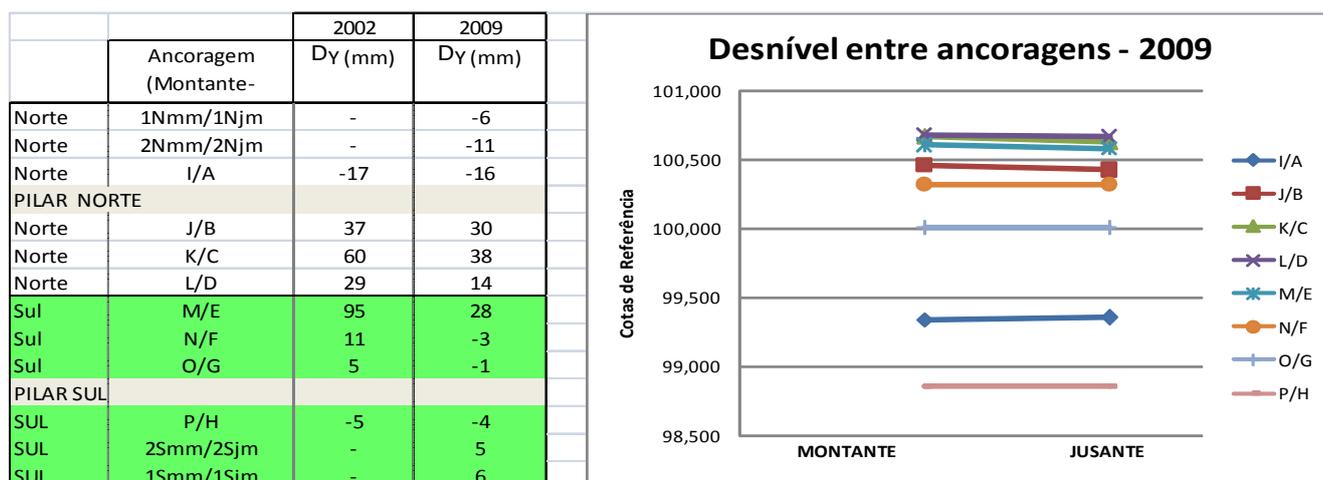
DESCRIÇÃO DO TRABALHO: Levantamento de cotas de nível do passeio junto das flanges de ligação dos tubos de protecção dos cabos com o tubo anti-vandalismo

	DATA	14-12-2002			22-09-2009			Δy (mm) Lev. Anterior	OBS.:
		LEITURA	Hora	Temperatur	LEITURA	Hora	Temperatur		
JUSANTE	1Njm				98,396	10:00	27º		
	2Njm				98,458	10:00	27º		
	A	99,350			99,351	10:00	27º	1	
	PNj	81,699				10:00	27º		
	B	100,423			100,421	10:00	27º	-2	
	C	100,627			100,624	10:00	27º	-3	
	D	100,686			100,664	10:00	27º	-22	
	cj1					10:00	27º		
	cj2					10:00	27º		
	cj3					10:00	27º		
	E	100,545			100,575	10:00	27º	30	
	F	100,332			100,320	10:00	27º	-12	
	G	100,009			100,003	10:00	27º	-6	
	PSj	66,499				10:00	27º		
H	98,856			98,858	10:00	27º	2		
2Sjm				98,043	10:00	27º			
1Sjm				97,987	10:00	27º			
MONTANTE	1Nmm				98,390	10:00	27º		
	2Nmm				98,447	10:00	27º		
	I	99,333			99,335	10:00	27º	2	
	PNm	81,631				10:00	27º		
	J	100,460			100,451	10:00	27º	-9	
	K	100,687			100,662	10:00	27º	-25	
	L	100,715			100,678	10:00	27º	-37	
	cm1					10:00	27º		
	cm2					10:00	27º		
	cm3					10:00	27º		
	M	100,640			100,603	10:00	27º	-37	
	N	100,343			100,317	10:00	27º	-26	
	O	100,014			100,002	10:00	27º	-12	
	PSm	66,399				10:00	27º		
P	98,851			98,854	10:00	27º	3		
2Smm				98,048	10:00	27º			
1Smm				97,993	10:00	27º			



Nota: As cotas altimétricas das ancoragens dos vão suspensos encontram-se corrigidas por um factor x devido ao referencial anteriormente utilizado, sendo e não na superfície do mesmo. Neste caso os conectores encontravam-se soldados na viga do passeio.

- Com os valores obtidos é também possível determinar a inclinação do tabuleiro na zona das ancoragens no sentido transversal (Montante/Jusante)



- Posteriormente foi efectuado o levantamento topográfico do centro da via e dos dois passeios, cujos resultados serão apresentados no próximo relatório.
- Adicionalmente foi também efectuado um levantamento da posição das ancoragens no plano horizontal.

## 4 APARELHOS DE APOIO

### 4.1 Encontro Sul

- De acordo com o anteriormente mencionado os aparelhos de apoio do encontro Sul não apresentam problemas evidentes de funcionamento.



## Aparelhos de apoio do encontro Sul do lado de montante



Aparelhos de apoio do encontro Sul do lado de jusante

### 4.2 Pilar Sul

- De acordo com a imagem abaixo o desfasamento da marca de controlo colocada anteriormente aquando de uma das anteriores inspecções de rotina à ponte, não se deve ao deslocamento do tabuleiro mas sim a um reposicionamento anteriormente efectuado pelos responsáveis pela manutenção da ponte. É possível ainda verificar marcas da sua posição anterior.
- A base de rolamento apresenta alguns sinais de corrosão não sendo contudo acentuada.



Aparelho de apoio do Pilar Sul, lado de Montante (Visto por jusante).

- No lado de Montante à parte de alguma sujidade acumulada não á sinais de funcionamento incorrecto do aparelho de apoio.
- Relativamente ao desfasamento verificado entre a chapa de rolamento superior e a inferior cremos que se trata de uma situação com origem na montagem inicial da ponte.
- Este aparelho de apoio quando visto de jusante apresenta alguns sinais de corrosão na face de contacto com a chapa de rolamento superior.



Aparelho de apoio do Pilar Sul, lado de Jusante (Visto por montante).



Aparelho de apoio do Pilar Sul do lado de Jusante (Visto por jusante).

### 4.3 Tabuleiro Central - Lado Norte

- Estes aparelhos de apoio apresentam alguns sinais de fricção lateral embora não apresentem sinais de desgaste acentuado.
- Em ambos os casos é possível observar alguma início de corrosão entre as superfícies de contacto.



Aparelho de apoio de Montante do tabuleiro central lado norte (vista de jusante)



Aparelho de apoio de Jusante do tabuleiro central lado norte (vista de montante)

### 4.4 Pilar Norte

- Como se pode verificar pelas fotos não se verificam situações anormais nestes elementos, quer a nível de integridade estrutural ou desgaste.
- Superficialmente apenas se verifica algum início de corrosão nas superfícies de contacto.



Aparelho de apoio de jusante no pilar norte (visto de montante)



Aparelho de apoio de Montante no pilar norte (visto de jusante)

#### 4.5 Encontro Norte

- Após inspecção dos aparelhos de apoio norte não foram detectadas situações que ponham em risco o seu funcionamento.



Aparelho de apoio de Jusante no encontro Norte



Aparelho de apoio de montante no encontro Norte

## 5 OBSERVAÇÕES

### 5.1 Estrutura Metálica

- Apenas foram detectados casos pontuais de alívio no aperto de parafusos, verificando-se esta situação unicamente elementos secundários (travamentos diagonais).
- Relativamente às soldaduras da estrutura não foram detectadas situações anómalas dignas de registo.

- Foram pontualmente encontradas soldadura partidas na ligação entre o carril dos bailéus e a estrutura, as quais foram de imediato reparadas.

## **5.2 Sistema de Suspensão**

- Como se pode verificar o sistema de suspensão e em especial do lado Montante Norte apresenta-se consideravelmente danificado. O que coincide precisamente com o lado em que se registou anteriormente situações de circulação de comboios de camiões em plena carga e a velocidades elevados.
- Neste momento ainda se verificam algumas situações de circulação simultânea de veículos pesados na via e a velocidades excessivas, não estando garantido ainda um eficaz controlo policial.

## **5.3 Levantamento Topográfico**

- O levantamento topográfico foi efectuado com interdição total da circulação na ponte.
- Tendo em conta que o levantamento de 2002 foi executado antes da colocação do passadiço metálico sendo utilizados como pontos de referência conectores soldados às vigas principais, foi compensado um erro sistemático de 30mm referente à diferença entre a altura destes conectores e a superfície do piso metálico do passadiço.

## **5.4 Aparelhos de apoio**

- Na zona de transição entre o vão central e o vão central suspenso norte, embora seja visível o movimento relativo entre as duas partes da junta de dilatação sobre estes aparelhos de apoio, o mesmo não se aplica aos aparelhos de apoio cujo movimento de rolamento não é tão perceptível.

## **5.5 Ancoragem nos encontros**

- A título indicativo e por observação de marcas anteriormente deixadas por inspecções anteriores foi possível constatar que nos encontros com especial incidência no encontro Norte os blocos de ancoragem sofreram alguns movimentos, aparentemente de rotação ou deslocamento de uma das faces no sentido descendente. De acordo com marcações anteriores este movimento parece ter estabilizado a partir de 2005.
- Os maiores deslocamentos foram verificados na ancoragem N°1 Montante Sul aparentando ter estabilizado em 2005.



Pormenores dos sinais de deslocamento/rotação

- Tendo em conta a altura em que foram registados estes eventuais deslocamentos dos blocos de ancoragem, estes não aparentam estar ligados á situação actual da estrutura.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 ESTRUTURA METÁLICA

- Neste momento encontra-se concluída a verificação da estrutura metálica do tabuleiro de onde se conclui que esta se encontra em bom estado de conservação, não havendo sido encontrados defeito relevantes a nível de soldaduras, ligações aparafusadas ou mesmo em relação à protecção exterior anti-corrosiva com excepção de casos pontuais sob as juntas de dilatação que já apresentam alguma corrosão, ou em algumas superfícies das vigas principais alguma perda de cor fruto da exposição à luz solar.

#### 6.1.1 Levantamento Topográfico

- Como se pode verificar pelo levantamento topográfico houve um deslocamento descendente de generalizado em todas as ancoragens do vão ventral, atingindo máximos nas ancoragens centrais na ordem dos 30mm.
- Verificar pela diferença nas cotas de nível nas ancoragens das secções transversais do tabuleiro que houve uma descida mais acentuada do lado de montante, especialmente tendo em conta a variação do declive entre as ancoragens N1-M-N e N°1-J-N. Este facto deve-se à cedência de alguns cabos da ancoragem N°1-M-N.
- É também possível verificar uma ligeira subida na cota da ancoragem N°1-J-S que julgamos ser fruto da do fenómeno acima referido.

### 6.2 SISTEMA DE SUSPENSÃO

- Após verificação de todas as ancoragens inferiores do tabuleiro podemos constatar que não são identificados danos visíveis a reportar nestes elementos com as seguintes excepções:
  - N°1-J-S - Apresenta diferenças nos comprimentos dos cabos na ordem dos 40mm
  - N°1-M-N - apresenta 2 cabos aparentemente partidos e um terceiro com escorregamento acentuado.
  - N°2-M-N - apresenta 1 cabo com sinais de escorregamento
  - N°3-M-N-Extremo - Apresenta escorregamento de 4 cabos
  - N°1-M-N-Extremo – Apresenta 1 cabo aparentemente partido
- Será apresentado no próximo relatório a verificação das ancoragens superiores o que permitirá determinar se realmente se verificou ruptura ou escorregamento dos cabos com problemas.

- Para definição com rigor do estado real de cada um dos cabos das ancoragens será necessário aguardar pelas inspecções a efectuar pelos técnicos da Tensacciai.
- É precisamente do lado de montante que se verificam as maiores cargas sobre o tabuleiro fruto do intenso tráfego de camiões carregados que circulam em grupos de 3 a 8 camiões originário da pedreira situada em Caboledo explorada desde 2008.
- Temos também conhecimento que brevemente mais empresas (Chinesas) vão explorar pedreiras nessa localização, prevendo-se o aumento deste tipo de tráfego.
- Neste momento o sistema de suspensão da ponte encontra-se enfraquecido pelo que é indispensável a limitação do tráfego ao máximo de 1 único veículo pesado de cada vez sobre o tabuleiro até que a situação dos cabos seja regularizada.

### **6.3 APARELHOS DE APOIO**

- Como havia sido referido no relatório anterior os aparelhos de apoio não apresentam sinais de funcionamento incorrecto, embora seja conveniente proceder-se futuramente ao saneamento dos pontos de corrosão para prevenir a sua progressão.

Luanda, 30 de Setembro de 2009

**RELATÓRIO Nº 4 – 05.10.2009**  
**PONTE DA BARRA DO KWANZA**

OBRA:	<b>10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA</b>
LOCAL:	<b>BARRA DO KWANZA – ANGOLA</b>
DATA:	<b>05/10/2009</b>

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, e em seguimento dos trabalhos de inspecção da estrutura metálica anteriormente iniciados apresentamos os registo de inspecção efectuados entre o dia 29/09/09 e o dia 02/10/09, relativamente a toda a estrutura metálica do tabuleiro, ancoragens inferiores do sistema de suspensão e aparelhos de apoio.

## **1 ESTRUTURA METÁLICA**

### **1.1 Pilar Norte**

#### **1.1.1 Torre de Ancoragem**

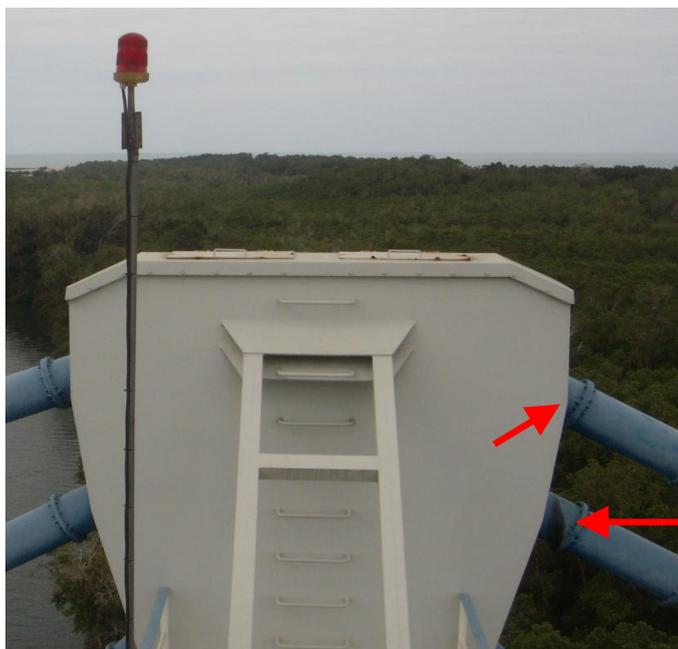
Após verificação das torres de ancoragem Montante e Jusante do pilar Norte verifica-se que estes se encontram em boas condições de conservação, quer a nível estrutural quer em termos de protecção superficial.

No entanto, embora não sendo elementos estruturais, deverão em futuras acções ser alvo de reparação alguns pontos que denotam corrosão avançada, tais como varandins e respectivos pernos de fixação, tampas de acesso as ancoragens e base de fixação das diagonais de travamento da torre.



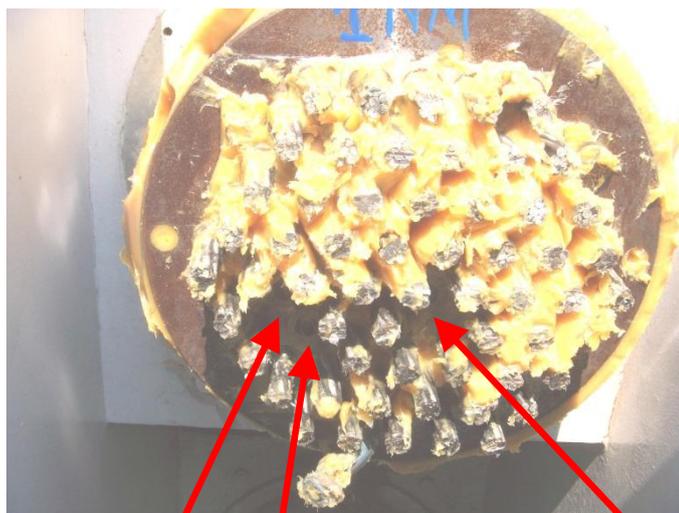
## **2 SISTEMA DE SUSPENSÃO**

Por observação do sistema de suspensão identificamos que na ancoragem superior N°1-J-N-Extremo existe uma pequena fuga de cera, que escorre sobre a ancoragem superior N°2-J-N-Extremo, como se pode verificar na figura seguinte.



## 2.1 Ancoragem Superior Nº1 Montante Norte

Nesta ancoragem verifica-se pela sua ausência o escorregamento de 3 cabos.



## 2.2 Ancoragem superior Nº2 Montante Norte

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



## 2.3 Ancoragem superior Nº3 Montante Norte

Nesta ancoragem verifica-se que os cabos apresentam comprimentos distintos na ordem de 15mm na zona assinalada e 40mm nos cabos situados na zona superior da ancoragem.



#### **2.4 Ancoragem superior Nº3 Montante Norte - Extremo**

Também nesta ancoragem se verificam alguns cabos com comprimento inferior aos restantes.



#### **2.5 Ancoragem superior Nº2 Montante Norte - Extremo**

Nesta ancoragem não se detectaram irregularidades nos cabos.



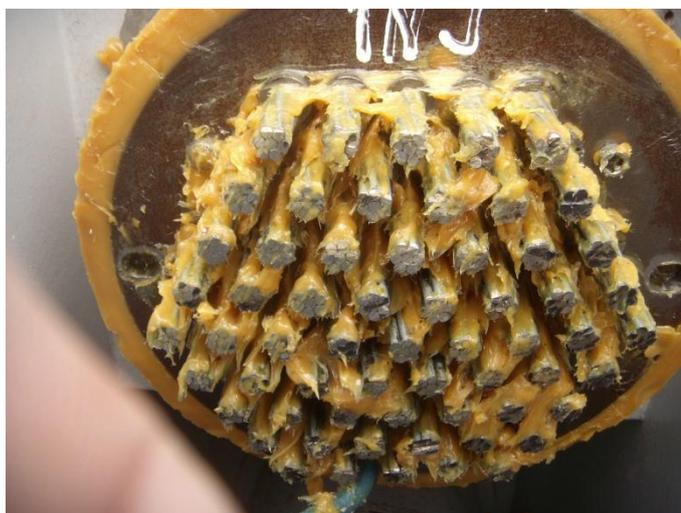
#### **2.6 Ancoragem Superior Nº1 Montante Norte - Extremo**

Nesta ancoragem detectou-se a ausência de um cabo. O qual coincide com o cabo que havia sido encontrado com comprimento superior na ancoragem inferior Nº 1-M-N-Extremo.



### **2.7 Ancoragem Superior Nº1 Jusante Norte**

Nesta ancoragem não se detectaram irregularidades nos cabos.



### **2.8 Ancoragem superior Nº2 Jusante Norte**

Nesta ancoragem não se detectaram irregularidades nos cabos.



### **2.9 Ancoragem superior Nº3 Jusante Norte**

Nesta ancoragem não se detectaram irregularidades nos cabos.



### **2.10 Ancoragem superior Nº3 Jusante Norte – Extremo**

Nesta ancoragem não se detectaram irregularidades nos cabos.



### **2.11 Ancoragem superior Nº2 Jusante Norte – Extremo**

Um dos cabos indicados na figura apresenta sinais de escorregamento, no qual se verifica que os arames da periferia se encontram com comprimentos inferiores ao arame central.



### **2.12 Ancoragem Superior Nº1 Jusante Norte – Extremo**

Nesta ancoragem não se detectaram irregularidades nos cabos.



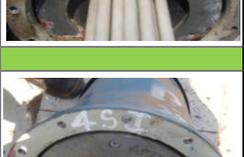
### **2.13 Cunhas de fixação**

Foi removida uma das cunhas de fixação de um dos cabos da ancoragem Nº1-M-N, onde após desmontagem se pode verificar o desaparecimento total das estrias nos pontos de contacto entre o tirante e as paredes internas da cunha.



### **2.14 Amortecedores**

- Foi efectuada a inspecção à totalidade dos amortecedores, onde foi possível verificar com mais detalhe quais os que apresentam problemas que comprometa o seu normal funcionamento.

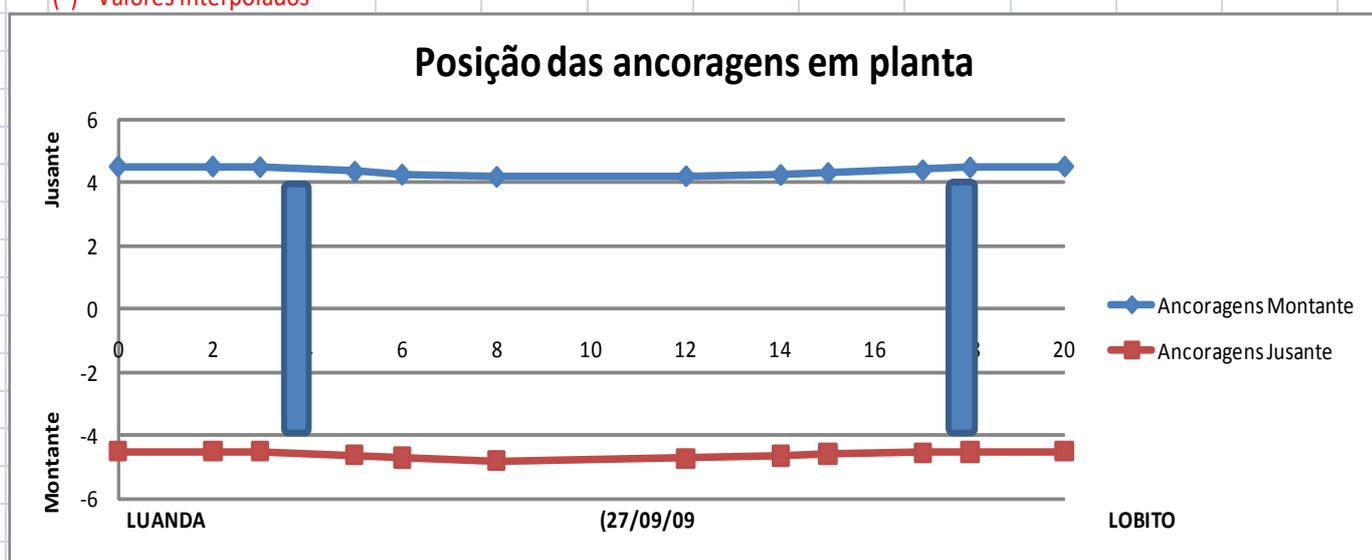
		Montante		Jusante				
		Nº	Observações	Foto	Nº	Observações	Foto	
NORTE	1Extremo		Sem problemas visíveis. Alguns sinais de deslocamento dentro do tubo de protecção. <b>Em funcionamento.</b>		1Extremo	Sem problemas visíveis. Alguns sinais de deslocamento dentro do tubo de protecção. <b>Em funcionamento.</b>		
	2Extremo		Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		2Extremo	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
	3Extremo		Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		3Extremo	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
	Pilar Norte				Pilar Norte			
	3		Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		3	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
	2		Tem parafusos partidos. <b>Não funciona correctamente.</b>		2	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
1		Tem parafusos partidos. <b>Não funciona correctamente.</b>		1	Todos os parafusos partidos (6), anéis de borracha descaídos. <b>Amortecedor inoperacional</b>			
Sul	1		Alguns parafusos partidos. Condições mínimas de funcionamento garantidas após a desmontagem para inspecção. <b>Risco de ruptura dos restantes parafusos.</b>		1	Vários parafusos partidos. <b>Funcionamento deficitário, com risco de ruptura dos restantes parafusos.</b>		
	2		Tem parafusos partidos. <b>Não funciona correctamente.</b>		2	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
	3		Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		3	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
	Pilar Sul				Pilar Sul			
	3Extremo		Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		3Extremo	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		
	2Extremo		Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>		2Extremo	Tem parafusos partidos. <b>Não funciona correctamente.</b>		
1Extremo		Tem parafusos partidos. <b>Não funciona correctamente.</b>		1Extremo	Sem problemas visíveis. <b>Em funcionamento.</b>			

### 3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

- Foi efectuado o levantamento das coordenadas em planta de todas as ancoragens, e como pode ser observado no quadro seguinte verifica-se um desvio do tabuleiro central para o lado de jusante.

		ANCORAGEM												
		Nº1-N- Extremo	Nº2-N- Extremo	Nº3-N- Extremo	Nº3-N	Nº2-N	Nº1-N	Nº1-S	Nº2-S	Nº3-S	Nº1-S- Extremo	Nº2-S- Extremo	Nº1-S- Extremo	
Montante	Luanda	4,51	4,51	4,49	4,35	4,26	4,19	4,21	4,25	4,31	4,395	4,48	4,51	Lobito
Jusante	Luanda	4,51	4,51	4,52	4,63	4,71	4,81	4,74	4,65	4,59	4,56	4,53	4,51	

( ) - Valores interpolados



### 4 OBSERVAÇÕES

#### 4.1 Amortecedores

- É possível verificar que alguns dos amortecedores inferiores apresentam sinais de escorregamento no interior dos respectivos tubos de protecção, tendo em conta que estes foram montados á face das flanges de ligação com os tubos anti-vandalismo.

- De acordo com informações obtidas, a ancoragem N°1-J-N foi anteriormente alvo de esforços anormais (detectado em 01/2008) que provocaram a ruptura dos parafusos da abraçadeira de fixação do tubo de protecção ao tabuleiro.
- Os amortecedores superiores não foram inspeccionados por ausência de acessos.

#### 4.2 Levantamento Topográfico

- O levantamento topográfico foi executado com interdição da circulação sobre o tabuleiro considerando como referência o eixo dos tubos metálicos de protecção dos tirantes.
- Tendo em conta que não foi possível a obtenção de 3 pontos do levantamento efectuou-se uma aproximação por interpolação dos valores obtidos nos pontos adjacentes.

Nota: Uma das tabelas referentes ao levantamento topográfico apresentado no Rel.N°3 apresenta algumas incorrecções (norte/sul). Apresentamos o quadro correcto:

		2002	2009
	Ancoragem (Montante-	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)
Norte	1Nmm/1Njm	-	-6
Norte	2Nmm/2Njm	-	-11
Norte	I/A	-17	-16
PILAR NORTE			
Norte	J/B	37	30
Norte	K/C	60	38
Norte	L/D	29	14
Sul	M/E	95	28
Sul	N/F	11	-3
Sul	O/G	5	-1
PILAR SUL			
SUL	P/H	-5	-4
SUL	2Smm/2Sjm	-	5
SUL	1Smm/1Sjm	-	6

## **5 CONCLUSÕES**

### **5.1 ESTRUTURA METÁLICA**

- As estruturas metálicas das torres de ancoragem não apresentam defeitos reportáveis.
- Apenas alguns elementos não estruturais como tampas de acesso e varandins necessitam de alguma beneficiação para correcção de alguns pontos de corrosão.

### **5.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

- Verifica-se um desvio do tabuleiro central no sentido de jusante.

### **5.3 SISTEMA DE SUSPENSÃO**

#### **5.3.1 Amortecedores**

- Os amortecedores inferiores de todas as ancoragens N°1 do tabuleiro central encontram-se com problemas acentuados, denotando um elevado número de parafusos partidos, os quais apresentam risco elevado de deixarem de funcionar por completo.
- Em especial salientamos o estado do amortecedor inferior N°1-J-N o qual já não se encontra em funcionamento em consequência da ruptura de todos os parafusos e respectiva desintegração de todo o conjunto (anéis metálicos+anéis de borracha+elemento central em teflon).

#### **5.3.2 Ancoragens Superiores - Pilar Norte**

- De acordo com o expectável após verificação das ancoragens inferiores também nas ancoragens superiores se verifica maior concentração de defeitos do lado montante norte.

- Após inspecção das ancoragens superiores podemos constatar que não houve ruptura dos tirantes mas sim escorregamento de alguns cabos relativamente às cunhas de fixação.
- Tendo em conta o estado superficial interno das cunhas podemos concluir que as estrias que garantiam o atrito necessário a fixação dos mesmos não suportaram as cargas a que foram sujeitas.
- Existe um elevado número de cabos com comprimento visível bastante reduzido. Após análises a efectuar brevemente será confirmado se se verificou o escorregamento dos mesmos.

#### **5.4 DIVERSOS**

- Realizou-se no dia 03.10.2009 uma reunião conjunta entre o INEA, o Comando da BET (Brigada Especial de Trânsito) e a Teixeira Duarte, S.A. na qual o INEA solicitou à BET um controle mais rigoroso e permanente do trânsito que circula sobre a ponte atendendo ao facto de se terem detectado anomalias na estrutura da ponte.
- BET disponibilizou-se a melhorar o controlo sobre a ponte e a ceder uma balança móvel para ser instalada do lado sul da ponte.
- No local constata-se que até 05.10.2009 não se regista qualquer melhoria no controle do trânsito que apenas é efectuado durante as horas de trabalho da Teixeira Duarte, S.A. (7h30 às 17h00) sendo inclusivamente interrompido na hora de almoço. Durante a noite e aos fins-de-semana continua a não ser realizado qualquer controle.
- Mesmo durante a semana verifica-se que o controle é efectuado de uma forma incorrecta (passam vários pesados na ponte em simultâneo e por vezes ficam vários pesados parados sobre a ponte) e descoordenada.
- Reiteramos a necessidade urgente e de se implementar um sistema de controlo rigoroso e permanente que reduza as cargas sobre a ponte e por conseguinte o risco de ocorrer um acidente que poderá ser extremamente grave.

Luanda, 05 de Outubro de 2009

**RELATÓRIO Nº5 - 2009.10.12**

**PONTE DA BARRA DO KWANZA**

OBRA:	<b>10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA</b>
LOCAL:	<b>BARRA DO KWANZA – ANGOLA</b>
DATA:	<b>12/10/2009</b>

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, e em seguimento dos trabalhos de inspeção do tabuleiro e do sistema de suspensão apresentamos os resultados da mesma obtidos até 13/10/09.

## **1 ESTRUTURA METÁLICA**

### **1.1 Pilar Sul**

#### **1.1.1 Torres de Ancoragem**

Foram inspeccionados os elementos metálicos no topo do pilar sul onde se verifica que as torres de ancoragem se encontram em boas condições estruturais e de protecção anti-corrosiva.

Verificam-se também neste pilar a existência de alguns pontos de corrosão em elementos não estruturais como varandins e chumbadouros de fixação de ancoragem para bailéus, que deverão ser futuramente corrigidos.





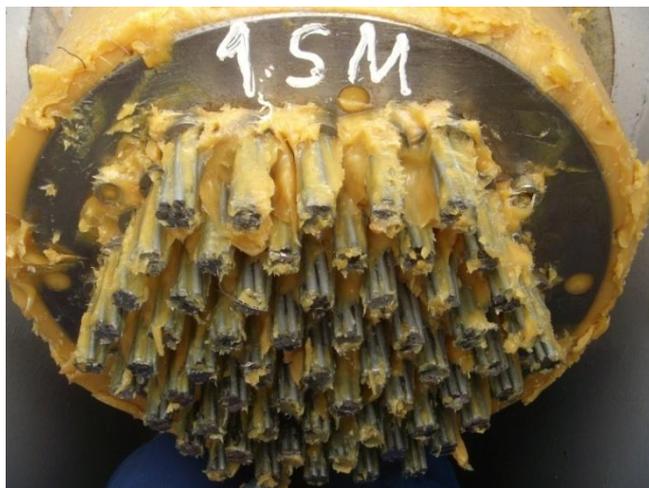
## 2 SISTEMA DE SUSPENSÃO

### 2.1 Pilar Sul

Foram verificadas todas as ancoragens superiores da Torre Sul não havendo sido encontradas irregularidades visíveis em qualquer uma delas como seguidamente apresentado.

### 2.2 Ancoragem Superior Nº1 Montante Sul

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### 2.3 Ancoragem superior Nº2 Montante Sul

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### 2.4 Ancoragem superior Nº3 Montante Sul

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### 2.5 Ancoragem superior Nº3 Montante Sul – Extremo

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### 2.6 Ancoragem superior Nº2 Montante Sul – Extremo

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### 2.7 Ancoragem Superior Nº1 Montante Sul – Extremo

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### 2.8 Ancoragem Superior Nº1 Jusante Sul

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### **2.9 Ancoragem superior Nº2 Jusante Sul**

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### **2.10 Ancoragem superior Nº3 Jusante Sul**

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



### **2.11 Ancoragem superior Nº3 Jusante Sul – Extremo**

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



**2.12 Ancoragem superior Nº2 Jusante Sul – Extremo**

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.

**2.13 Ancoragem Superior Nº1 Jusante Sul – Extremo**

Nesta ancoragem não se detectam situações irregulares.



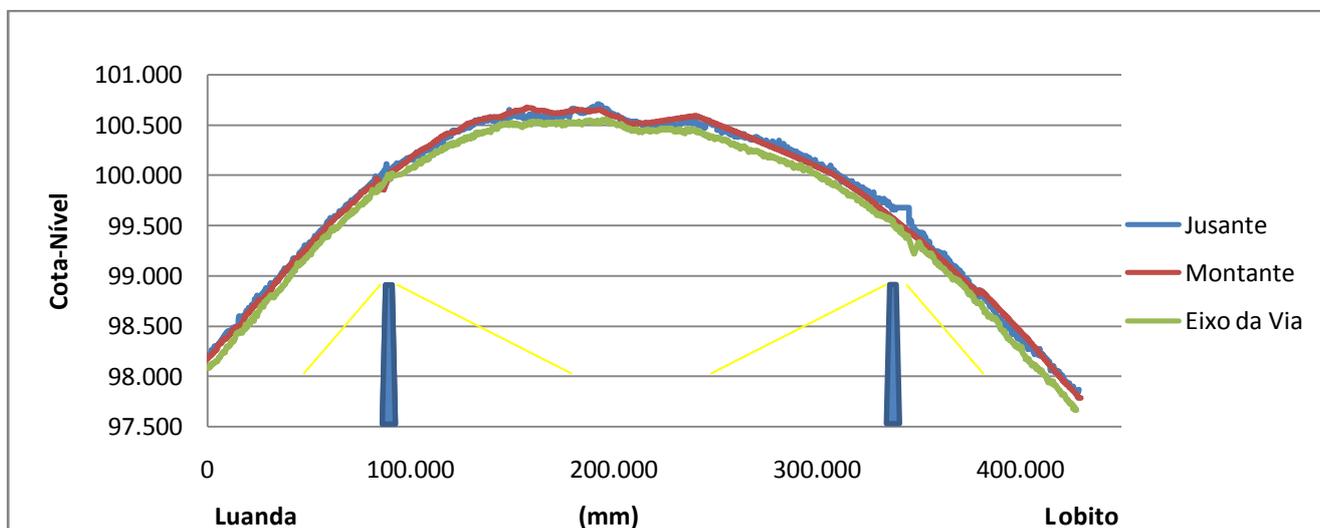
### 3 MONITORIZAÇÃO

Tendo em conta o estado actual das ancoragens superiores, onde se verificam indícios de escorregamento, deu-se início à monitorização regular do comprimento visível dos cabos destas ancoragens, pelo que serão apresentados nos próximos relatórios os valores obtidos.

### 4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Foi efectuado o levantamento das cotas altimétricas do tabuleiro no passadiço de montante e de jusante utilizando equipamento de medição via GPS.

Após o levantamento de pontos a cada 200mm é possível verificar a existência de uma inflexão acentuada no vão central e uma ligeira inflexão em parte do tramo compreendido entre o pilar norte e o vão central.



### 5 OBSERVAÇÕES

- Embora seja mais frequente a presença policial nos extremos da ponte, esta ainda não é permanente, e é muitas vezes ineficaz, verificando-se frequentemente a

circulação em simultânea de vários veículos pesados sobre a mesma faixa do tabuleiro.

## **6 CONCLUSÕES**

### **6.1 ESTRUTURA METÁLICA**

#### **6.1.1 Pilar Sul**

- As estruturas metálicas das torres de ancoragem não apresentam problemas visíveis.
- Salvo alguns pontos de corrosão em elementos não estruturais, não foram detectados defeitos reportáveis.

### **6.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

- Após levantamento topográfico dos passeios e eixo da via, é possível confirmar a existência de uma inflexão da contra-flecha da estrutura do tabuleiro nos tramos central norte e central.

Luanda, 12 de Outubro de 2009

**RELATÓRIO Nº6 - 2009.10.26**

**PONTE DA BARRA DO KWANZA**

OBRA: **10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA**

LOCAL: **BARRA DO KWANZA – ANGOLA**

DATA: **26/10/2009**

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, e em seguimento dos trabalhos de inspecção do tabuleiro e do sistema de suspensão, apresentamos os resultados obtidos no período compreendido entre 13/10/09 e 23/10/09, os quais incluem resultados preliminares da intervenção efectuada pelos técnicos da empresa Tensacciai.

## **1 INSPECÇÃO**

**Esta intervenção abrangeu as seguintes verificações:**

- **Inspeção Visual** - foi efectuada a inspecção a toda a estrutura, nomeadamente estrutura metálica, tirantes, ancoragens, amortecedores, elementos de protecção dos cabos.
- **Verificação de continuidade dos strands** - recorrendo a sistema de medição por ultra-sons.
- **Medição de tensão nos tirantes** - o levantamento de dados foi efectuado recorrendo-se á análise de vibrações dos tirantes, e apenas posteriormente se apresentarão os resultados conclusivos.
- **Verificação de células de carga** – foram efectuados testes de funcionamento das células de carga

## **2 SISTEMA DE SUSPENSÃO**

### **2.1 Ancoragens superiores**

- Após inspecção por parte dos técnicos da Tensacciai da extremidade visível dos strands nas ancoragens superiores constata-se que a hipótese de escorregamento generalizado levantada em relatórios anteriores não se confirma, sendo a irregularidade dos comprimentos dos strands devida ao corte manual e irregular efectuado na altura da montagem.
- O escorregamento total dos cordões em falta nas ancoragens Norte Montante ficam-se a dever a fenómenos combinados de oscilação com grandes amplitudes e fadiga fruto de solicitações abusivas da estrutura.

Este fenómeno poderá ocorrer novamente com os restantes strands se não forem garantidas as rigorosas restrições de tráfego definidas.

- Foram efectuadas medições que permitiram determinar a tensão real dos tirantes, não sendo por questões de segurança verificada a tensão individual de cada strand tendo em conta que esta medição seria efectuada por intermédio de utilização de macaco hidráulico e respectivo aumento de tensão.

### **2.2 Ancoragens inferiores**

- Nestas ancoragens também a hipótese de escorregamento foi posta de parte com uma única excepção de um strand na ancoragem N°1-Montante-Norte pelas mesmas razões acima apresentadas assim como por verificação das cunhas de fixação dos strands que se soltaram na extremidade superior, não apresentando estas qualquer sinal de desgaste ou atrito.
  - Prevendo-se futuramente possíveis acções de afinação do sistema de suspensão foram verificadas as posições de afinação das mangas roscadas das ancoragens.
- O quadro seguinte apresenta o comprimento de rosca disponível para afinação.

		Jusante		Montante	
		Nº	Comprimento de rosca visível (mm)	Nº	Comprimento de rosca visível (mm)
<b>Norte</b>	1Extremo		60	1Extremo	60
	2Extremo		90	2Extremo	90
	3Extremo		97	3Extremo	97
	Pilar Norte		0	Pilar Norte	0
	3		97	3	97
	2		20	2	20
	1		170	1	170
<b>Sul</b>	1		170	1	170
	2		20	2	20
	3		97	3	97
	Pilar Sul		0	Pilar Sul	0
	3Extremo		97	3Extremo	97
	2Extremo		90	2Extremo	90
	1Extremo		60	1Extremo	60

### 2.3 Amortecedores

- De acordo com os técnicos da Tensacciai nunca foi anteriormente identificada em aplicações semelhantes a ruptura de parafusos indiciando oscilação das ancoragens com amplitudes muito superiores ao admissível.
- Tendo em conta o difícil acesso aos elementos danificados dos amortecedores e impossibilidade de remoção do elemento central sem alívio total da tensão no tirante, a sua reabilitação poderá passar pela substituição de alguns dos seus componentes, devendo estes permitir uma montagem compatível com os acessos actuais (nomeadamente anéis metálicos anterior e posterior para fixação dos anéis de borracha).

### 2.4 Células de Carga

Detectou-se a existência de diversas células de carga avariadas e outras com funcionamento irregular, sendo necessário proceder-se à sua substituição. Este facto inviabiliza a reposição imediata do funcionamento do sistema de monitorização dos tirantes.

O quadro seguinte apresenta o resumo das células que não se encontram em funcionamento:

	Jusante		Montante	
	Nº	Estado	Nº	Estado
<b>Norte</b>	1Extremo	Não Funciona	1Extremo	Não Funciona
	2Extremo	Não Funciona	2Extremo	Não Funciona
	3Extremo	O.K.	3Extremo	O.K.
	Pilar Norte		Pilar Norte	
	3	Não Funciona	3	O.K.
	2	O.K.	2	O.K.
	1	O.K.	1	Não Funciona
<b>Sul</b>	1	O.K.	1	O.K.
	2	O.K.	2	O.K.
	3	O.K.	3	O.K.
	Pilar Sul		Pilar Sul	
	3Extremo	O.K.	3Extremo	O.K.
	2Extremo	Não Funciona	2Extremo	Não Funciona
	1Extremo	Não Funciona	1Extremo	Não Funciona

### 3 MONITORIZAÇÃO

De forma a confirmar inexistência de eventual escorregamento dos strands nas ancoragens superiores foram monitorizados cinco strands em cada ancoragem sendo os resultados apresentados no anexo II, onde se pode verificar que a situação das ancoragens é estacionária.

### 4 CONCLUSÕES

#### 4.1 SISTEMA DE SUSPENSÃO

- 4.1.1 Após análise cuidada das ancoragens inferiores e superiores conclui-se que o escorregamento de strands que se supunha ser generalizado apenas se verificou de forma total em strands da ancoragem superior N°1-Montante-Norte e um na ancoragem superior N°1-Montante-Norte-Extremo e ainda o escorregamento parcial num strand da ancoragem inferior N°1-Montante-Norte.

O escorregamento das ancoragens superiores ficou a dever-se às elevadas amplitudes de oscilação do tabuleiro associado a fenómenos de fadiga originados à passagem de cargas elevadas sobre o tabuleiro, com o correspondente alívio no tensionamento dos tirantes dando origem ao desencaixe das cunhas e escorregamento de strands.

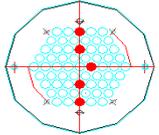
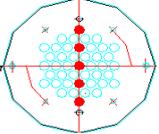
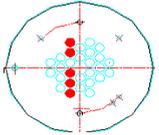
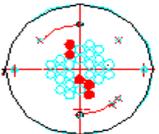
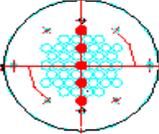
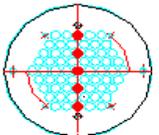
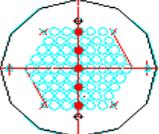
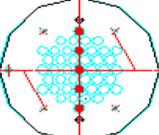
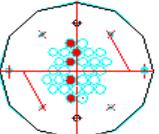
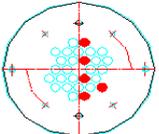
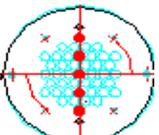
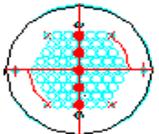
- 4.1.2 A situação encontra-se estável e manter-se à se as limitações à circulação forem respeitadas.
- 4.1.3 Para segurança adicional deverão ser aplicadas chapas de freio nas ancoragens superiores de maior risco tal como recomendado no relatório da Tensacciai, garantindo a segurança necessária durante a fase de estudo da solução permanente para o problema.

Luanda, 26 de Outubro de 2009

# ***ANEXOS***

# ANEXO I

## ***Monitorização de Strands***

		JUSANTE													
		Comprimento Visível (mm)													
Ancoragem	Identificação de cordões	Cordão	13/10/09	14/10/10	15/10/11	16/10/12	19/10/13	20/10/14	21/10/15	22/10/16	23/10/17	/ /	/ /	/ /	Observ.
Norte	<b>1Ext</b> 	1	51	51	51	51	51	51	51	51	51				
		2	54	54	54	54	54	54	54	54	54				
		3	53	53	53	53	53	53	53	53	53				
		4	55	55	55	55	55	55	55	55	55				
		5	52	52	52	52	52	52	52	52	52				
	<b>2Ext</b> 	1	40	40	40	40	40	40	40	40	40				
		2	45	45	45	45	45	45	45	45	45				
		3	50	50	50	50	50	50	50	50	50				
		4	52	52	52	52	52	52	52	52	52				
		5	40	40	40	40	40	40	40	40	40				
	<b>3Ext</b> 	1	26	26	26	26	26	26	26	26	26				
		2	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
		3	31	31	31	31	31	31	31	31	31				
		4	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
		5	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
	<b>3</b> 	1	20	20	20	20	20	20	20	20	20				
		2	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
		3	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
		4	26	26	26	26	26	26	26	26	26				
		5	22	22	22	22	22	22	22	22	22				
<b>2</b> 	1	44	44	44	44	44	44	44	44	44					
	2	48	48	48	48	48	48	48	48	48					
	3	44	44	44	44	44	44	44	44	44					
	4	47	47	47	47	47	47	47	47	47					
	5	46	46	46	46	46	46	46	46	46					
<b>1</b> 	1	52	52	52	52	52	52	52	52	52					
	2	59	59	59	59	59	59	59	59	59					
	3	63	63	63	63	63	63	63	63	63					
	4	58	58	58	58	58	58	58	58	58					
	5	57	57	57	57	57	57	57	57	57					
SUL	<b>1</b> 	1	49	49	49	49	49	49	49	49	49				
		2	51	51	51	51	51	51	51	51	51				
		3	57	57	57	57	57	57	57	57	57				
		4	56	56	56	56	56	56	56	56	56				
		5	55	55	55	55	55	55	55	55	55				
	<b>2</b> 	1	41	41	41	41	41	41	41	41	41				
		2	52	52	52	52	52	52	52	52	52				
		3	48	48	48	48	48	48	48	48	48				
		4	47	47	47	47	47	47	47	47	47				
		5	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
	<b>3</b> 	1	31	31	31	31	31	31	31	31	31				
		2	28	28	28	28	28	28	28	28	28				
		3	28	28	28	28	28	28	28	28	28				
		4	26	26	26	26	26	26	26	26	26				
		5	27	27	27	27	27	27	27	27	27				
<b>3Ext</b> 	1	24	24	24	24	24	24	24	24	24					
	2	28	28	28	28	28	28	28	28	28					
	3	28	28	28	28	28	28	28	28	28					
	4	18	18	18	18	18	18	18	18	18					
	5	27	27	27	27	27	27	27	27	27					
<b>2Ext</b> 	1	45	45	45	45	45	45	45	45	45					
	2	40	40	40	40	40	40	40	40	40					
	3	50	50	50	50	50	50	50	50	50					
	4	47	47	47	47	47	47	47	47	47					
	5	45	45	45	45	45	45	45	45	45					
<b>1Ext</b> 	1	52	52	52	52	52	52	52	52	52					
	2	51	51	51	51	51	51	51	51	51					
	3	58	58	58	58	58	58	58	58	58					
	4	57	57	57	57	57	57	57	57	57					
	5	52	52	52	52	52	52	52	52	52					

		MONTANTE													
Ancoragem	Identificação de cordões	Cordão	Comprimento Visível (mm)										/ /	/ /	Observ.
			13/10/09	14/10/10	15/10/11	16/10/12	19/10/13	20/10/14	21/10/15	22/10/16	23/10/17				
Norte		1	49	49	49	49	49	49	49	49	49				
		2	56	56	56	56	56	56	56	56	56				
		3	55	55	55	55	55	55	55	55	55				
		4	48	48	48	48	48	48	48	48	48				
		5	64	64	64	64	64	64	64	64	64				
		1	42	42	42	42	42	42	42	42	42				
		2	48	48	48	48	48	48	48	48	48				
		3	54	54	54	54	54	54	54	54	54				
		4	51	51	51	51	51	51	51	51	51				
		5	49	49	49	49	49	49	49	49	49				
		1	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
		2	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
		3	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
		4	25	25	25	25	25	25	25	25	25				
		5	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
		1	35	35	35	35	35	35	35	35	35				
		2	33	33	33	33	33	33	33	33	33				
		3	27	27	27	27	27	27	27	27	27				
		4	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
		5	19	19	19	19	19	19	19	19	19				
		1	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
		2	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
		3	46	46	46	46	46	46	46	46	46				
		4	55	55	55	55	55	55	55	55	55				
		5	35	35	35	35	35	35	35	35	35				
	1	43	43	43	43	43	43	43	43	43					
	2	59	59	59	59	59	59	59	59	59					
	3	55	55	55	55	55	55	55	55	55					
	4	61	61	61	61	61	61	61	61	61					
	5	57	57	57	57	57	57	57	57	57					
SUL		1	52	52	52	52	52	52	52	52	52				
		2	54	54	54	54	54	54	54	54	54				
		3	59	59	59	59	59	59	59	59	59				
		4	59	59	59	59	59	59	59	59	59				
		5	60	60	60	60	60	60	60	60	60				
		1	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
		2	51	51	51	51	51	51	51	51	51				
		3	51	51	51	51	51	51	51	51	51				
		4	45	45	45	45	45	45	45	45	45				
		5	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
		1	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
		2	28	28	28	28	28	28	28	28	28				
		3	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
		4	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
		5	26	26	26	26	26	26	26	26	26				
		1	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
		2	27	27	27	27	27	27	27	27	27				
		3	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
		4	29	29	29	29	29	29	29	29	29				
		5	22	22	22	22	22	22	22	22	22				
		1	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
		2	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
		3	46	46	46	46	46	46	46	46	46				
		4	45	45	45	45	45	45	45	45	45				
		5	43	43	43	43	43	43	43	43	43				
	1	46	46	46	46	46	46	46	46	46					
	2	51	51	51	51	51	51	51	51	51					
	3	58	58	58	58	58	58	58	58	58					
	4	56	56	56	56	56	56	56	56	56					
	5	52	52	52	52	52	52	52	52	52					

# ANEXO II

## ***Inspecção Tensacciai***

### ***Relatório Prévio***

 <p><b>TENSACCIAI</b> TENSACCIAI s.p.a. direzione: 20149 milano (l) - via flavio vegezio, 15 telefono: +39 02 43 00 16.1 - telefax +39 02 48 01 07 26 stab.: pero (mi) - via 25 aprile, 8/10 - tel. +39 02 38 10 00 64</p>	<p><b>PONTE DA BARRA DO RIO KWANZA</b> Inspeção do Sistema de Suspensão <b>RELATÓRIO PRELIMINAR</b></p>	<p><b>Data: 22/10/09</b></p>
<p>Equipa: Eng. Codacci-Pisanelli Michelle Martino</p>		

Elementos Inspeccionados	Tipo de Inspeção
Estrutura Metálica	Visual
Ancoragens	Visual Ultra Sons
Tirantes	Visual Análise Dinamica TDR-Equipment Termocamera
Amortecedores	Visual
Células de Carga	Medição de Tensão electrica

No âmbito da Inspeção da estrutura metálica e sistema de suspensão foi efectuada uma inspeção por parte dos técnicos da empresa Tensacciai, cujos resultados preliminares seguidamente se apresentam.

### **RESULTADOS DE INSPECÇÃO**

- Da análise efectuada verifica-se que todos os strands tem continuidade e a secção de cada cabo mantém-se inalterada.
- Está confirmada a existência de escorregamento de 3 strands nas ancoragens superiores N°1-Norte-Montante e um strand na ancoragem N°1-Montante-Norte-Extremo. Confirma-se também o escorregamento parcial de um strand da ancoragem inferior N°1-Montante-Norte. As pequenas diferenças verificadas nos comprimentos visíveis dos strands das ancoragens superiores são resultantes dos cortes irregulares feitos no momento da montagem inicial (informação do técnico que efectuou a montagem), e não escorregamento generalizado.
- A aparente diferença de tensões verificadas entre strands do tirante N°1-Montante-Norte supõe-se ser devida ao “emaranhado” dos três cabos soltos no interior deste tirante.
- Da nossa análise preliminar verificamos a existência de fenómenos de fadiga nas ancoragens originados pelas elevadas cargas dos veículos pesados que circulam sobre o tabuleiro. Estas suspeitas preliminares são confirmadas partindo de outros sinais como a quebra de parafusos nos amortecedores e pelos sinais evidentes de ruptura dos lancis dos passeios nas zonas anexas às juntas de dilatação.

 <p><b>TENSACCIAI</b> TENSACCIAI s.p.a. direzione: 20149 milano (l) - via flavio vegezio, 15 telefono: +39 02 43 00 16.1 - telefax +39 02 48 01 07 26 stab.: pero (mi) - via 25 aprile, 8/10 - tel. +39 02 38 10 00 64</p>	<p><b>PONTE DA BARRA DO RIO KWANZA</b> Inspeção do Sistema de Suspensão <b>RELATÓRIO PRELIMINAR</b></p>	<p><b>Data: 22/10/09</b></p>
<p>Equipa: Eng. Codacci-Pisanelli Michelle Martino</p>		

- A partir da análise dinâmica serão posteriormente apresentados resultados relativos ao tensionamento de cada tirante e efectuada a correlação com a carga circulante. Esta análise evitou a utilização de macacos hidráulicos mono-cordão para identificar a tensão individual em cada strand, pois em situações de fenómenos de fadiga (ancoragem superior) poderia revelar-se uma operação de risco pelo aumento de tensão induzida na extremidade contrária dos tirantes com risco de escorregamento súbito e total.
- Por inspeção das células de carga detectou-se o funcionamento incorrecto de diversas unidades (10unid) as quais deverão ser substituídas, o que inviabiliza a reposição imediata do sistema de monitorização.
- Foi verificada existência de uma ligeira rotação e deslocação descendente do bloco de ancoragem no tirante Nº1-Montante-Sul-Extremo (no encontro). Verificaremos a correlação deste acontecimento com a ressonância provocada pela passagem de veículos pesados a alta velocidade na estrutura original.

## CONSTATAÇÕES

- No final da inspeção podemos no entanto constatar o seguinte:
  1. A circulação de carga sobre o tabuleiro efectua-se alternadamente num único sentido
  2. A distância entre veículos é de aproximadamente 20m para veículos com peso bruto até 30Ton
  3. Para veículos com cargas excepcionais excedendo as 30 Ton a circulação deverá ser efectuada isoladamente sobre o tabuleiro.
  4. A velocidade actual de circulação sobre o tabuleiro de aproximadamente 20km/h para veículos pesados é adequada.

## RECOMENDAÇÕES

- Para evitar a progressão dos fenómenos de fadiga do sistema de suspensão e escorregamento total de strands:
  1. Deverá ser aplicada uma chapa de freio em todas as ancoragens superiores norte e sul garantindo a imobilização das cunhas de fixação.

 <p><b>TENSACCIAI</b> TENSACCIAI s.p.a. direzione: 20149 milano (I) - via flavio vegezio, 15 telefono: +39 02 43 00 16.1 - telefax +39 02 48 01 07 26 stab.: pero (mi) - via 25 aprile, 8/10 - tel. +39 02 38 10 00 64</p>	<p><b>PONTE DA BARRA DO RIO KWANZA</b> Inspeção do Sistema de Suspensão <b>RELATÓRIO PRELIMINAR</b></p>	<p><b>Data: 22/10/09</b></p>
<p>Equipa: Eng. Codacci-Pisanelli Michelle Martino</p>		

2. Para controlar os strands nas ancoragens inferiores, deverá ser monitorizado o seu comprimento, confirmando a existência ou não de mais escorregamentos com periodicidade semanal.
3. Deverá se previsto no futuro o reforço do sistema de atirantamento garantindo o aumento de rigidez do conjunto, tendo em conta o tráfego actualmente verificado. Só assim poderá ser permitido o tráfego actual em ambos os sentidos em simultâneo.
4. Em caso de reforço da estrutura recomendamos a utilização das ancoragens provisórias instaladas durante a reabilitação anteriormente efectuada, as quais se confirma estarem instaladas e em boas condições.
5. Em futuros reforços os strands a utilizar não deverão ser protegidos com cera como anteriormente, de forma a evitar fenómenos de escorregamento (aumentando atrito) devidos ao fenómeno de ressonância com o correspondente alívio de tensão dos strands.
6. Sempre que se verificar desvios significativos de concentricidade dos tirantes relativamente aos tubos de protecção, os amortecedores deverão ser readaptados para garantir a ausência de esforços laterais nos strands.
7. As juntas provisória actualmente utilizadas provocam um impacto visível registado durante as análises dinâmicas efectuadas, à passagem de veículos pesados, devendo suavizar-se ou anular-se este desnível.

## RELATÓRIO Nº7

### PONTE DA BARRA DO KWANZA

OBRA:	<b>10500 – MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA</b>
LOCAL:	<b>BARRA DO KWANZA – ANGOLA</b>
DATA:	<b>12/11/2009</b>

No âmbito da empreitada de MANUTENÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA, foi solicitado à Teixeira Duarte por parte do projectista e dono de obra verificação de tensão real de alguns strands dos tirantes mais solicitados, ensaio que foi realizado em 11/11/09 cujos resultados de seguida se apresentam.

## 1 INSPECÇÃO DE STRANDS

### 1.1. Equipamento

Para verificação de tensão nos strands recorreu-se à utilização de um conjunto constituído por macaco de pré-esforço do tipo mono-cordão e respectiva central hidráulica com as seguintes características:

#### Cilindro Hidráulico

Modelo: Tensacciai-PT150KN (catálogo em anexo)

Pressão Máxima de funcionamento: 550Bar

Força máxima de tensionamento: 150KN

Área do êmbolo: 33cm<sup>2</sup> ( $F_{int}$  38mm –  $F_{ext}$  75mm)

#### Central Hidráulica

Pressão máxima limitada: 420bar



**Macaco hidráulico e respectiva central**

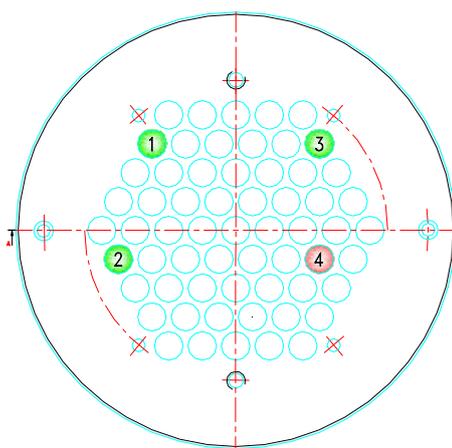
## 1.2. Ensaio

Foram verificadas duas ancoragens inferiores cujos strands estão submetidos a maiores tensões, e sobre as quais persistem algumas dúvidas sobre o seu estado real.

Durante a execução dos trabalhos controlou-se o comprimento da extremidade superior de cada Strand.

Descreve-se de seguida o ensaio realizado:

- **Ancoragem N°1-M-N**



**N°1-M-N Inferior**

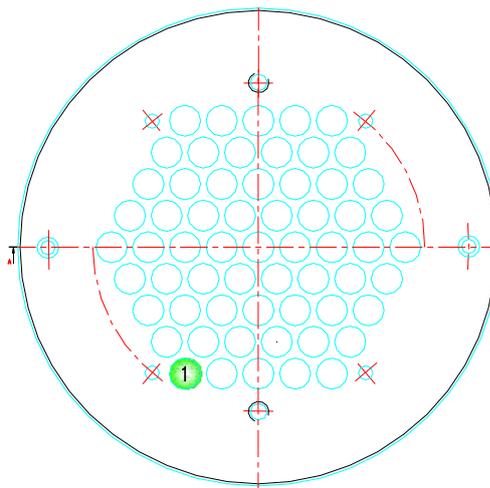
Escolheram-se strands que se encontravam em zonas opostas do tirante por se suspeitar da existência de strands destensionados (Nº 1 e 2) e outros com maior tensão (Nº 3).

Uma vez que não se verificou qualquer movimento (e descravação) nos strands Nº1, 2 e 3 foi testado um dos strands (nº4) que anteriormente deslizou totalmente na ancoragem superior, para aferir o funcionamento do macaco hidráulico.

#### Resultados Obtidos:

Strand	Início de descravação		Tensão em vazio		Máximos atingidos		Obs.:
	Pressão	Força	Pressão	Força	Pressão (bar)	Força (KN)	
1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	420	139	Não se atingiu a força de descravação
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	420	139	Não se atingiu a força de descravação
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	420	139	Não se atingiu a força de descravação
4	-	-	0	0	120	40	Deslizou de imediato até se verificar uma ligeira prisão

### Ancoragem Nº1-J-N



Nº 1 – J – N Inferior

Tendo em conta que não se verificaram durante as inspecções anteriormente efectuadas evidências de funcionamento anómalo nesta ancoragem, foi escolhido um strand que permitisse fácil monitorização durante o ensaio.

*Resultados Obtidos:*

Strand	Início de descravação		Tensão em vazio		Máximos atingidos		Obs.:
	Pressão (bar)	Força (KN)	Pressão (bar)	Força (KN)	Pressão (bar)	Força (KN)	
1	320	105	220	7,2	370	122	- Verificou-se a descravação esperada.

## 2 CONCLUSÕES

Ao contrário do que seria de esperar não foi possível efectuar a medição da tensão em nenhum dos strands da ancoragem inferior N°1-M-N, mesmo aplicando forças quase 2 vezes superiores ao esperado. Este facto pressupões que as cunhas deverão por alguma razão estar bloqueadas e firmemente solidárias com a chapa de ancoragem.

Pelo contrário na ancoragem inferior N°1-J-N verifica-se o desencastamento da cunha de fixação ao aplicar-se uma força na ordem das 10ton tal como seria de esperar. Pela observação da extremidade superior deste strand e após submetido a valores da tensão significativamente superiores aos valores de projecto verifica-se durante a operação de bloqueio do macaco hidráulico uma perda súbita de pressão (característica do equipamento), originando um alívio brusco da tensão aplicada neste elemento. Com este “choque” verificam-se indícios de ligeiro escorregamento.

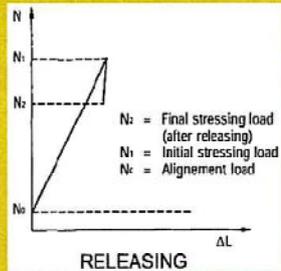
Luanda, 11 de Novembro de 2009

# ANEXO I

## ***Catálogo Macaco Hidráulico***

# "PT" SERIES STRESSING JACKS

TENSACCIAI manufactures 4 types of "PT" series jacks (plurijacks) which differ in terms of pulling section, weight and dimensions. All are equipped with automatic lock-off.



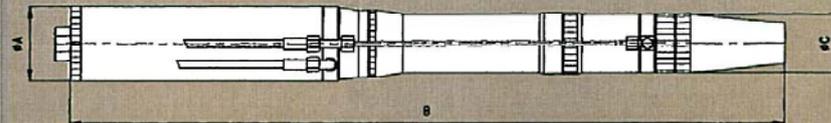
The TENSACCIAI TAC system has been designed and built to ensure that cycle stressing can be performed quickly, safely and automatically.

The patent involves the application of a hydraulic mechanism that inserts the anchorage wedge into the jack thus avoiding any obstructions during tensioning release, as performed by this particular stressing system.

By applying a simple cycle, this system can be used to test the tendon during stressing.



TAC DEVICE



Type of jack	m. u.	PT 150 KN	PT 200 KN	PT 250 KN	PT 300 KN
Capacity	kN	150	200	250	300
Stroke	mm.	100	200	200	200
Weight	kg.	16	23	23	28
Tensioning section	cm <sup>2</sup>	32.80	47.20	47.20	58.32
Maximum tensioning pressure	bar	550	450	550	550
Maximum return pressure	bar	180	180	180	180
Maximum locking pressure	bar	165	165	165	165
Connection	--	2 tubes	2 tubes	2 tubes	2 tubes
A	mm.	85	100	97	110
B	mm.	600	1000	930	870
C	mm.	60	85	77	88

Subject to modification Additional sizes available on request



# INSPECÇÃO E ESTUDOS DE REABILITAÇÃO DA PONTE DA BARRA DO KWANZA EM ANGOLA



**Cristina MACHADO**

Professora Adjunta  
ISEL



**Armando RITO**

Professor Coordenador  
ISEL

## RESUMO

*Em 1990, um dos tirantes de retenção da ponte da Barra do Kwanza, construída entre 1970 e 1975, rompeu, levando a obra à beira do colapso. Na altura foi feito um reforço provisório que permitiu manter a obra em funcionamento. Nesta comunicação apresenta-se uma breve descrição da obra, desse trabalho de reparação, do estado actual da obra e da solução preconizada para a sua reabilitação.*

## 1. INTRODUÇÃO

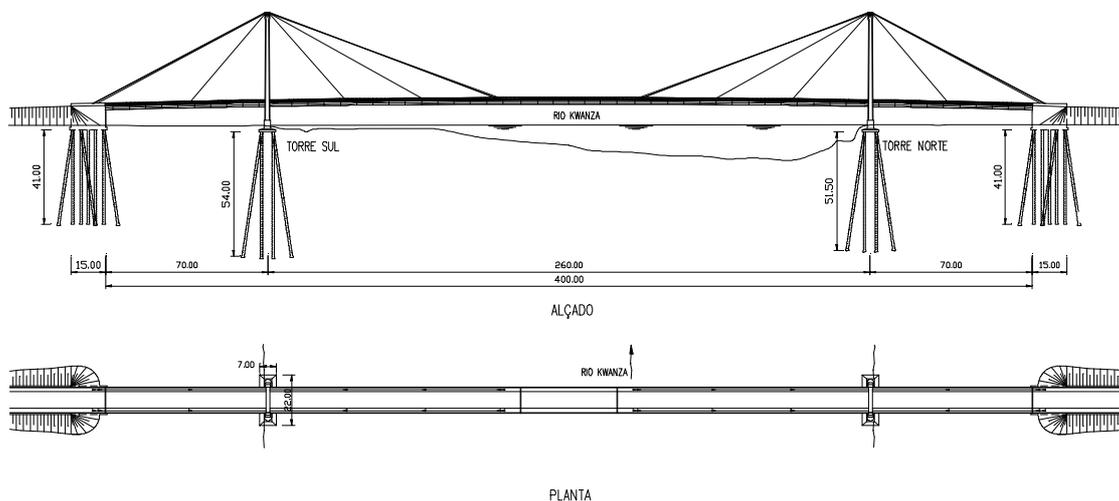
A ponte em causa é uma ponte mista aço-betão, de tabuleiro atirantado auto-ancorado, com dois vãos extremos de 70,00 metros e um vão central de 260,00 metros. O tabuleiro tem pois um comprimento total de 400,00 metros.



Ponte da Barra do Kwanza

O tabuleiro tem uma largura de 11,30 metros e comporta uma faixa de rodagem de 7,20 m e dois passeios de 2,05 m cada um. Este tabuleiro é suspenso de duas torres, onde também se apoia, por três pares de tirantes por torre, dois dos quais (tirantes 1 e 2) se juntam num único tirante, do lado dos tramos de margem.

Os sistemas de ancoragem são sistemas clássicos em que as ancoragens no tabuleiro são constituídas por troncos de cone de aço vazado nos quais mergulham os fios que constituem os tirantes

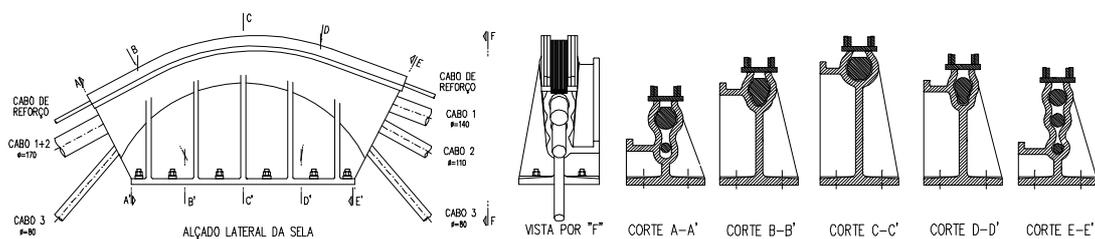


PLANTA

O sistema de amarração nessas ancoragens é constituído por um preenchimento do tronco de cone por uma liga metálica de chumbo, antimónio e estanho que envolve os próprios fios do tirante e, também, fios adicionais de travamento. Este enchimento foi tamponado com resinas.

A protecção dos tirantes é feita por galvanização dos próprios arames, seguidamente envolvidos por um revestimento constituído por uma hélice de espiras unidas em arame de aço galvanizado que, por sua vez, foi coberto por uma espessa pintura com tinta de base epoxi.

Os cabos são desviados no topo das torres sobre selas, em aço vazado, tendo as selas desta obra uma concepção muito peculiar.



Com efeito, os três tirantes juntam-se num só feixe de arames no topo da sela (corte C-C') desviando-se os fios, a partir daí, até formarem os cabos individuais à saída das selas.

Porém, os cabos 1 e 2 que se encontram separados desde a saída das selas até às ancoragens do lado do tramo central, mantêm-se ligados num só desde o topo das selas até aos encontros (corte A-A'), formando um único tirante do lado dos tramos de margem. Nesta configuração temos pois, por torre, 2 x 2 tirantes em cada tramo extremo e 2 x 3 tirantes no tramo central.

Quer as selas quer as ancoragens não dispõe de qualquer dispositivo que permita substituir os tirantes ou, sequer, corrigir as forças neles instaladas. É pois fácil de ver que não há nenhuma possibilidade de substituir, em cada sela, um tirante sem substituir, também, os outros dois.

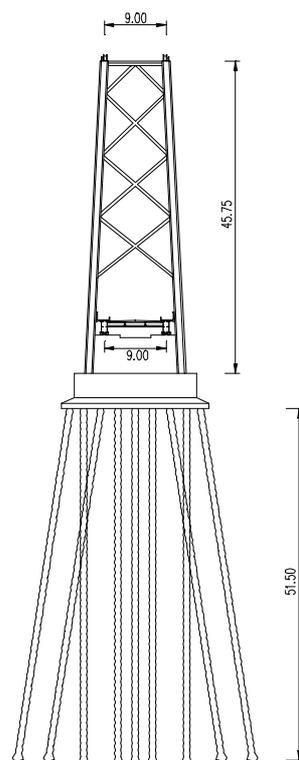
Na montagem os cabos foram cortados segundo os comprimentos previamente calculados, tendo a afinação da sua montagem sido feita por calagem com placas de aço colocadas entre os cones de ancoragem e os blocos que os suportam no tabuleiro.

A colocação em tensão dos tirantes foi obtida pela simples montagem sucessiva dos vários troços da estrutura do tabuleiro (vigas, travessas, laje da plataforma e restante carga permanente).

As torres são em betão armado e têm uma altura total de 45,75 m, dos quais 40,55 acima do tabuleiro.

A ponte, foi terminada em 1975 em condições particularmente difíceis e, em certa medida, sem se saber ao certo, quais as condições em que foi executada. A partir da sua entrada em serviço, não foi possível dar-lhe adequada manutenção.

No início de 1990, a parte correspondente, no tirante de retenção 1+2 do lado de jusante da margem direita, ao tirante 2 do tramo central rompeu obrigando a uma intervenção de emergência para evitar o colapso da obra e restabelecer o tráfego.



As medidas preconizadas pelo Prof. Eng.º Edgar Cardoso, projectista da obra, para resolver o problema foram, resumidamente, as seguintes:

- aliviar a carga permanente do tabuleiro, demolindo os passeios no vão central, que seriam substituídos por passeios metálicos, e removendo o tapete betuminoso da faixa de rodagem;
- colocar quatro cabos suplementares para reforço de cada um dos tirantes de retenção e repor a obra na sua configuração original;
- emendar o cabo que rompeu, por forma a restabelecer o seu funcionamento;

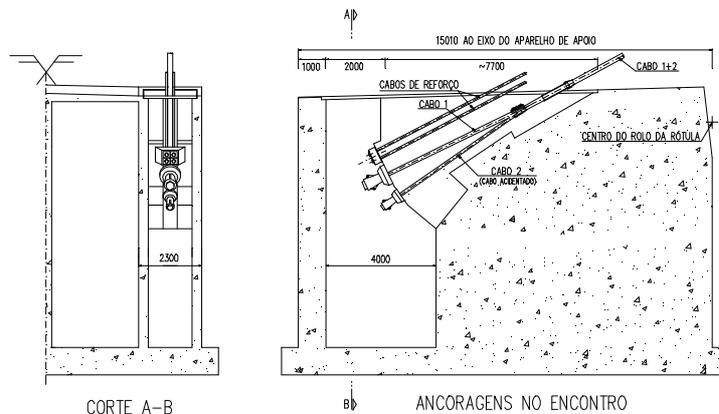
Destes trabalhos apenas foram realizados, embora não completamente, os dois primeiros.

No entanto, a medida preconizada no ponto c) não poderia nunca repor o integral funcionamento do tirante. Com efeito, a ancoragem que rompeu corresponde à ancoragem do cabo 2 o qual, logo à saída das ancora-

gens no encontro, se liga ao cabo 1 num único tirante, só se voltando a dividir em dois à saída da sela para o lado do tramo central.

Nestas condições, seria impossível restabelecer as forças no cabo 2 sem actuar, por arrastamento, no cabo 1 e na sela na torre, desequilibrando, assim, todo o jogo de forças na estrutura.

Para repor o funcionamento original teriam pois que se desmontar completamente os três tirantes.



## 2. RESULTADOS DA INSPECÇÃO

Na inspecção à obra foi possível observar o seguinte:

- Existe corrosão generalizada em todos os elementos metálicos, embora tenha sido feita uma pintura de manutenção, mas aplicada sem preparação prévia das superfícies.

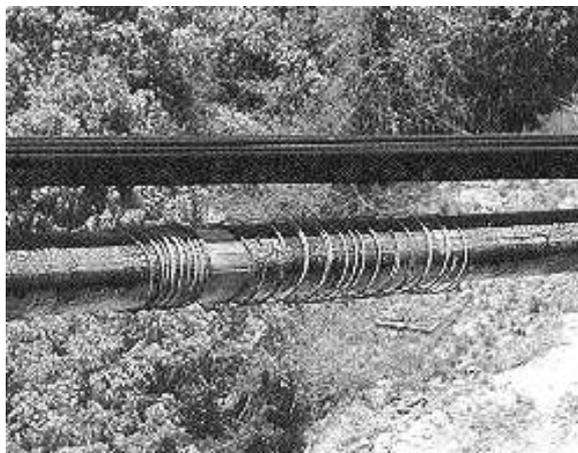
- Os tirantes têm a sua protecção anticorrosão muito deteriorada, estando os fios que os constituem já expostos em vários pontos e em extensão razoável.

É pois de admitir que possam encontrar-se já em estado de corrosão avançada.

Destaca-se, ainda, a existência de corrosão muito acentuada nas entradas dos cabos nas selas, zonas onde termina o enrolamento de protecção.

A pintura de protecção encontra-se completamente deteriorada.

- Regista-se a existência de diversos fios partidos e outros com reduções consideráveis de secção. Admite-se, também, que haja fios partidos no interior das selas, embora a sua observação não seja possível dada a sua localização.
- Nas ancoragens verifica-se, em geral, escorregamento, em relação aos fios, dos tamponamentos epoxídicos e fendilhação e desagrega-

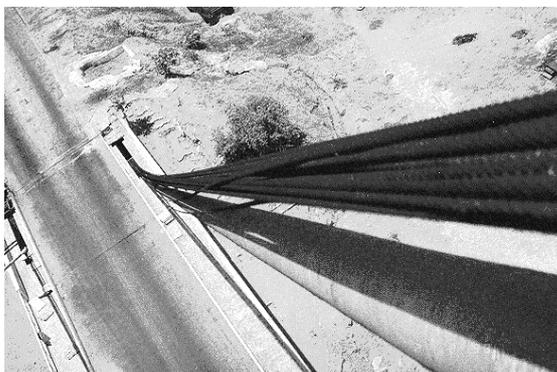


ção acentuada de partes dos mesmos, pondo a descoberto diversos arames. Ignora-se se esses arames pertencem aos cabos, o que indicaria que já há algum escorregamento no interior das ancoragens, ou se são apenas os fios adicionais colocados para travamento do conjunto.

- Constatou-se a existência de placas de chumbo entre cada ancoragem nos encontros e o betão em que apoiam, placas essas que, por estarem em contacto directo com a estrutura em aço, podem ter causado corrosão de origem galvânica.
- Os tirantes de retenção 1+2, do lado de jusante da margem direita, encontram-se na seguinte situação:
  - a) a parte correspondente ao tirante 2 está totalmente inutilizada, por rotura completa da sua ancoragem.
  - b) a parte correspondente ao tirante 1 também não oferece confiança, por indícios de rotura parcial da ancoragem (extrusão da argamassa de resinas e deslizamento dos fios no seu interior).
  - c) Os 4 tirantes, de 12 cordões cada um, colocados para substituir, ou complementar, as funções do tirante 1+2, estão, todos eles, num estado de degradação acentuada, pois não têm qualquer protecção.
  - d) Destes tirantes, os únicos cabos que estão activos são os de jusante da margem direita, os quais substituem o tirante de retenção na parte correspondente ao tirante N.º 2 e, supõe-se, também parcialmente o tirante N.º 1. Dois dos cordões destes cabos estão já partidos.

Os restantes cabos estão desactivados, pois não chegaram a ser colocados em tensão, aparentando ter sido neles instalada apenas a força necessária para segurar as cunhas no lugar e, assim, impedir a sua queda. Aliás, alguns têm já fios partidos e dois deles já romperam totalmente.

e) As ancoragens dos cabos de reforço estão mal montadas e desprotegidas, sendo constituídas por simples placas de ancoragem de pré-esforço. Os cordões encostam, na sua parte superior, às placas de anco-



ragem constituindo aí um ponto anguloso que pode levar à sua rotura.

f) De acordo com o documento de fixação de forças nos cabos, emitido em 1992 pela empresa que procedeu aos trabalhos, os cordões estão esticados a tensões normalmente usadas em cabos de pré-esforço (75 a 80% Rg), portanto bastante superiores aos 45% da tensão de rotura usualmente utilizados nos tirantes.

- Os montantes e travessas das torres apresentam, em geral, um estado de conservação aceitável, excepto em algumas zonas em que aparece microfissuração dispersa nomeadamente na parte superior das travessas de coroamento, e fissuras paralelas e transversais à travessa na torre Norte, onde se rompeu o tirante, envolvendo a totalidade da secção com aberturas até 1,8 mm e também na ligação fuste/travessa, com aberturas até 4,5 mm. Estas fissuras na travessa da torre Norte foram causadas pelo acidente.

- Os embasamentos das torres têm fissuração generalizada, com aberturas até 1,2 mm, predominantemente vertical e apresentando-se diagonal junto aos fustes.
- Os encontros têm fissuração dispersa, com aberturas chegando a atingir 1,5 mm.

### **3. SOLUÇÃO ADOPTADA PARA A REABILITAÇÃO DA OBRA**

Os estudos de reabilitação da obra tornaram-se particularmente difíceis por já não existir qualquer documentação a ela referente. Com efeito, praticamente toda a documentação existente em Angola foi destruída, excepto um dimensionamento geral da obra, uns desenhos dispersos referentes a pormenores do sistema de ancoragem, um parecer do Prof. Edgar Cardoso referente à reparação do tirante que rompeu e uma carta da empresa que procedeu à reparação, referindo-se às tensões a aplicar nos cabos de reforço colocados em 1992.

Nestas condições, aproveitou-se a deslocação de uma equipa do ISQ a Luanda para realizar uma inspecção detalhada à ponte, tendo-se realizado várias acções reconhecidas como necessárias, e também prioritárias, para permitir dar andamento aos estudos, nomeadamente:

- Levantamento das dimensões dos vários elementos constituintes da obra para se poder avaliar o seu peso e estabelecer um modelo de cálculo.
- Levantamento do estado de conservação da estrutura e das ancoragens e dos tirantes.
- Avaliação das forças instaladas nos tirantes.
- Obtenção e análise de algumas carotes do betão da obra.
- Nivelamento geral da obra.

Foram encaradas duas hipóteses de reabilitação, que sucintamente se descrevem a seguir, tendo sido adoptada a 2ª delas:

#### **3.1 Reforço dos Tirantes Existentes**

Para esta solução encararam-se como possíveis dois tipos de intervenção:

- O primeiro consistiria em substituir apenas os cabos de reforço actuais por cabos novos, devidamente protegidos, bem como as suas ancoragens, contra a corrosão.

Esta solução correspondia a uma solução de curto prazo, idêntica à que tinha sido já realizada, até se proceder a uma intervenção geral na obra. Os equipamentos e materiais assim utilizados e as verbas despendidas, não teriam qualquer utilidade para a sua reabilitação futura.

Os novos cabos de reforço seriam formados por feixes de cordões auto-protegidos e amarrados em ancoragens apropriadas para tirantes.

- O segundo, que a prevalecer a opção de reforço parecia mais aconselhável, seria constituído pelas seguintes acções:
  - a) Substituição dos cabos adicionais provisórios existentes, com aumento da sua capacidade por forma a habilitar a obra a receber sobrecargas mais elevadas.

- b) Montagem de cabos adicionais, para reforçar os cabos 2 e 3, dado o estado de degradação em que se encontram todos os tirantes.
- c) Reposição da protecção anticorrosão nos tirantes de origem, utilizando tecnologias modernas.

### 3.2 Substituição Total do Sistema de Atirantamento

Esta solução, que é a mais completa embora bastante mais difícil de realizar, e que foi a adoptada, passa pela substituição integral dos tirantes.

Note-se que chegou a ser encarada a modificação do sistema existente, através do aumento do número de cabos por forma a transformar o actual sistema num sistema do tipo “suspensão contínua”, modificação essa complementada com uma reabilitação integral da obra.

Porém, razões diversas ligadas à concepção original e conseqüente funcionamento estático da estrutura levaram a que essa solução fosse preterida em favor de uma simples substituição do sistema existente.

Com efeito, o acréscimo de custos, e de riscos pela particular delicadeza das operações, não seria compensado visto que:

- As modificações necessárias eram extensas e esbarravam com a inexistência de elementos relativos quer ao projecto, quer à execução da obra, quer ao estado das fundações, além de que as condições locais não são presentemente favoráveis a condições de trabalho que permitam um fiável e completo levantamento da situação.
- A época e as condições locais de construção da obra, com tecnologias pouco evoluídas, permitiam uma durabilidade previsível da ordem dos 50 anos, dos quais já se passaram 24, admitindo que o controle de qualidade da construção, para os padrões da altura evidentemente, tivesse sido adequado o que, manifestamente, não foi o caso.

A isto acresce a falta de manutenção e o ambiente agressivo (flúvio-marítimo) em que a mesma se encontra, o qual agravou bastante a situação.

- A faixa de rodagem é relativamente estreita, e impossível de alargar, e estando a ponte inserida num itinerário fundamental é de prever que o crescimento do tráfego dentro dos próximos 20 anos venha a impor a construção de uma nova ponte já com características adequadas.

Assim, adoptar uma solução que passasse pela substituição integral dos tirantes existentes por tirantes de cordões auto-protegidos dotados de ancoragens apropriadas, complementada com o reforço dos coroamentos das torres e a reparação e pintura gerais da obra.

As operações de substituição dos tirantes serão conduzidas da seguinte forma:

1. Reparação e reforço das travessas do coroamento das torres.
2. Montagem das ancoragens e das selas dos tirantes provisórias o mais junto possível das actuais.
3. Montagem progressiva dos cabos provisórios que assegurarão a total transferência de forças dos cabos a substituir, acompanhada do corte dos fios dos tirantes existentes, procedendo, assim, à transferência gradual, por patamares, das forças destes para os cabos provisórios.

4. Desmontagem dos tirantes existentes e montagem das ancoragens definitivas no tabuleiro e nas torres.
5. Instalação dos tirantes definitivos e transferência, cordão a cordão, das forças dos tirantes provisórios para os definitivos.
6. Remoção dos tirantes provisórios, pesagem geral da obra e operações de reajustamento de forças e de nivelamento finais.

Simultaneamente irão sendo realizadas as restantes operações de reabilitação, nomeadamente as injeções das fissuras e a pintura e reparação da estrutura metálica.

Apesar da extrema delicadeza das operações de substituição dos tirantes, não se prevê que seja necessário impor restrições significativas ao tráfego na obra. Apenas serão impostos condicionamentos pontuais durante operações críticas, tais como o corte dos tirantes e as operações de aplicação de forças, pesagem e nivelamento.

Os trabalhos de reabilitação foram iniciados em Junho de 2001 e deverão estar concluídos em finais de 2002.