

JPEE 2022

Lisboa • LNEC • 9 a 11 de novembro de 2022

6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas
Encontro Nacional de Betão Estrutural 2022
12^o Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica



PONTE 25 DE ABRIL

APURAMENTO DAS CAUSAS DA FISSURAÇÃO OCORRIDA NA CORDA SUPERIOR DA TRELIÇA TRANSVERSAL SUPERIOR DA VIGA DE RIGIDEZ

Pedro Abegão
INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL



A divulgação pública em 2018

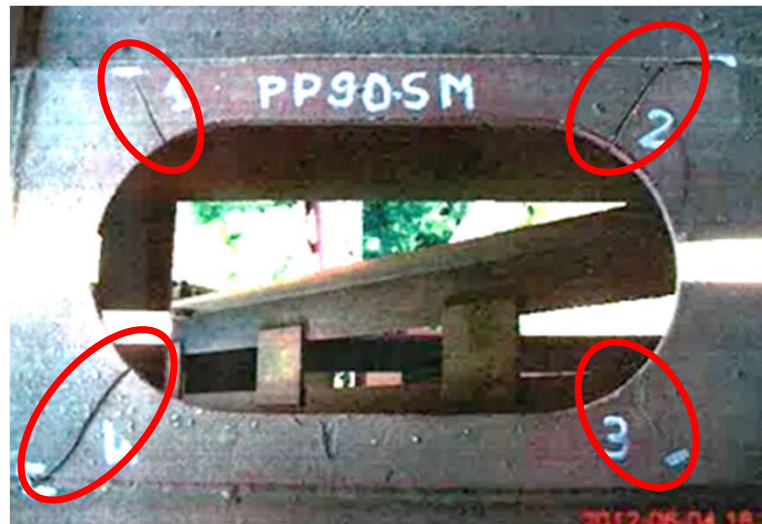
- Criou alarmismo na opinião pública
- Receio infundado
 - Declarações explicativas da IP, LNEC e Tal Projecto
 - Problema identificado, causas determinadas e solução definida
 - Trabalhos de reabilitação e reforço podiam iniciar-se assim que o empreiteiro estivesse escolhido. Aconteceu em dez. 2018

Mas o que causou as fissuras?



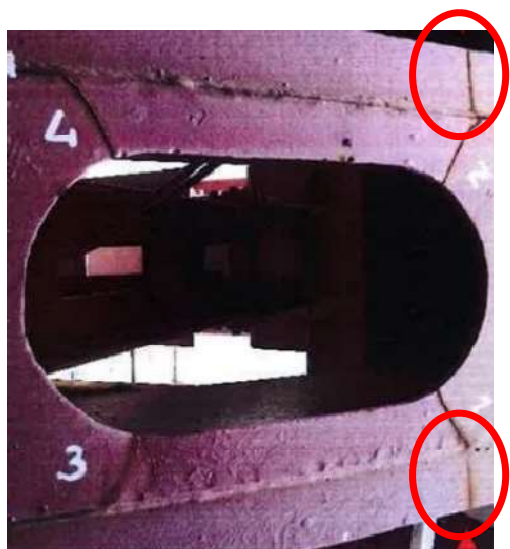
Tipologia das fissuras

- I. Fissuras radiais junto às únicas aberturas de acesso ao interior da corda superior da treliça



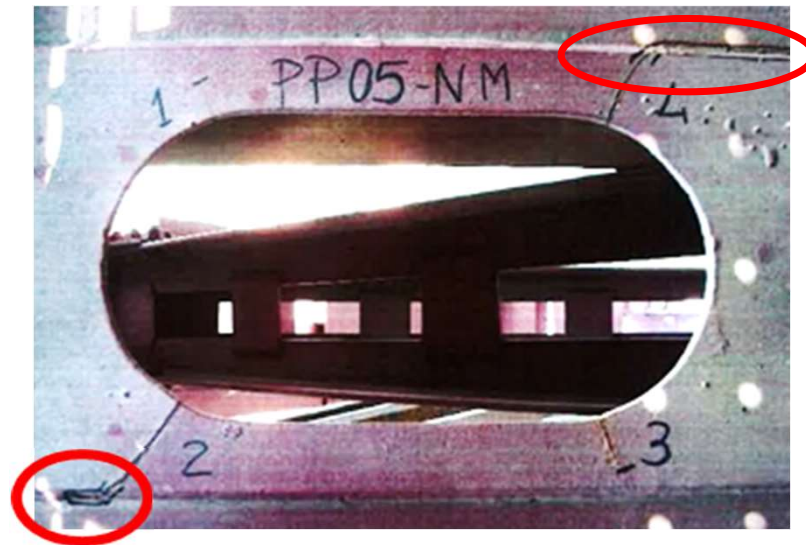
Tipologia das fissuras

II. Fissuras nos banzos superiores dos perfis “C”



Tipologia das fissuras

III. Fissuras em soldaduras na ligação dos banzos superiores dos perfis “C” à chapa superior

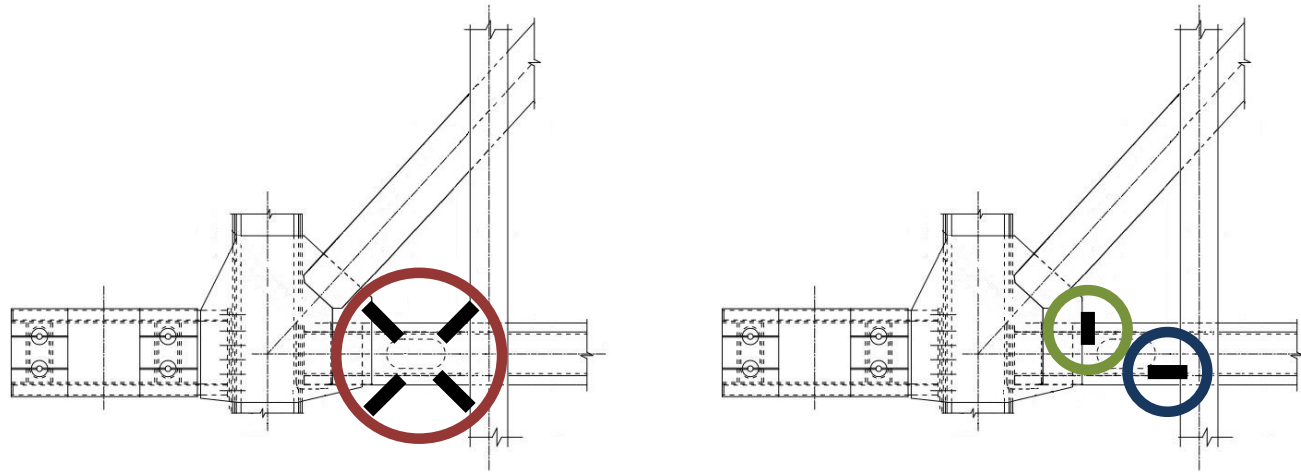


Tipologia das fissuras

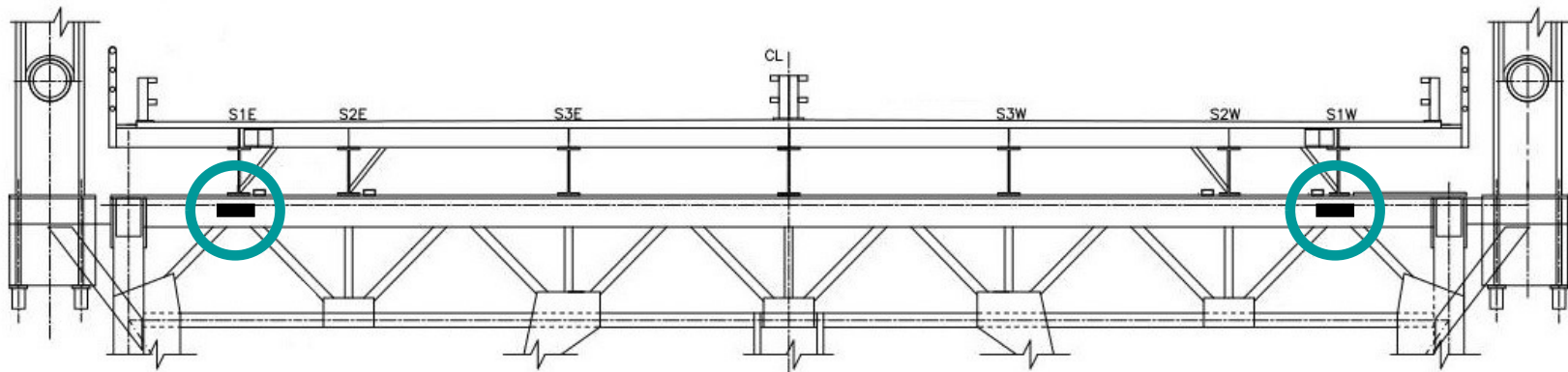
IV. Fissuras nas “almas” dos perfis “C” da corda superior da treliça



Distribuição espacial das fissuras



- Fissuras Tipo I.
- Fissuras Tipo II.
- Fissuras Tipo III.
- Fissuras Tipo IV.



Cenário em 2012

Resultados:

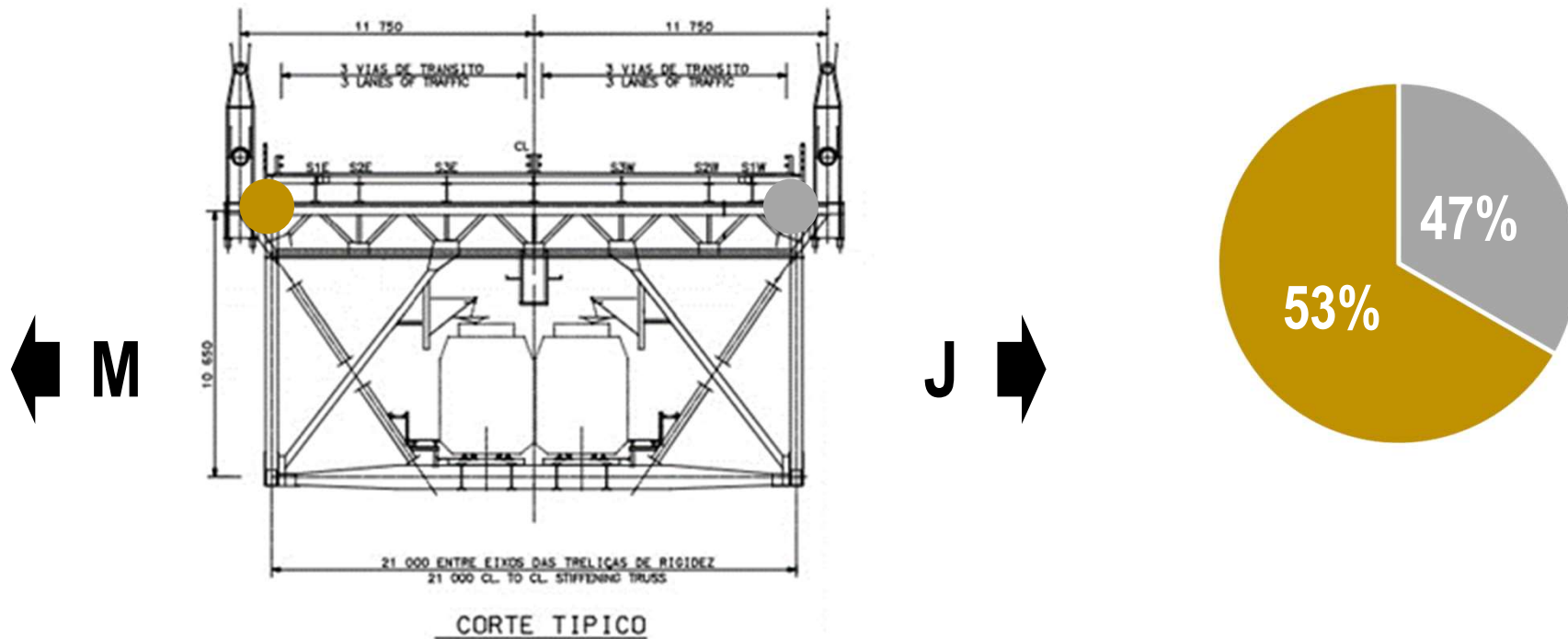
- Número de inspeções realizadas às zonas das aberturas: **390** (97% do total: 400)
- Número de zonas com fissuras: **129** (33% do total: 400)
- Número de fissuras registadas: **355**
- Número “*panel points*” ímpares com fissuras: **51** (78% do total: 65)
- Número “*panel points*” pares com fissuras: **14** (22% do total: 65)

Conclusão:

- Elevado número de fissuras, predominância nos “*panel points*” ímpares, e uma distribuição dispersa ao longo da viga de rigidez

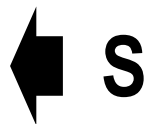
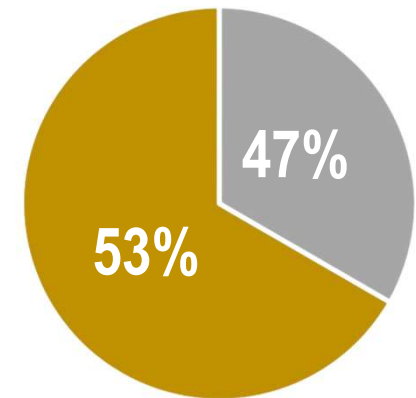
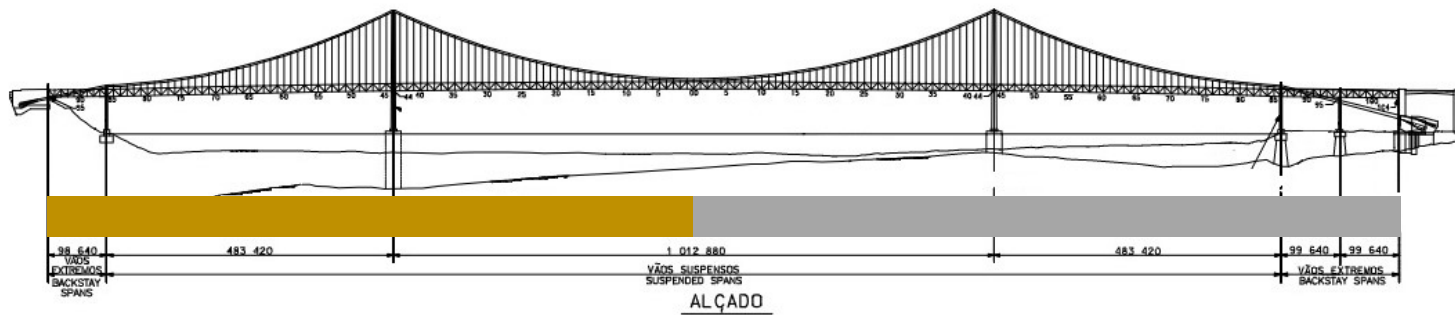
Cenário em 2012

Outros resultados – distribuição das fissuras pelo lado montante e lado jusante



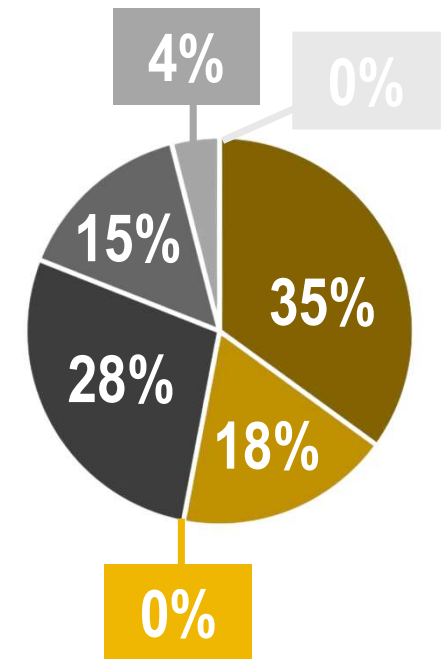
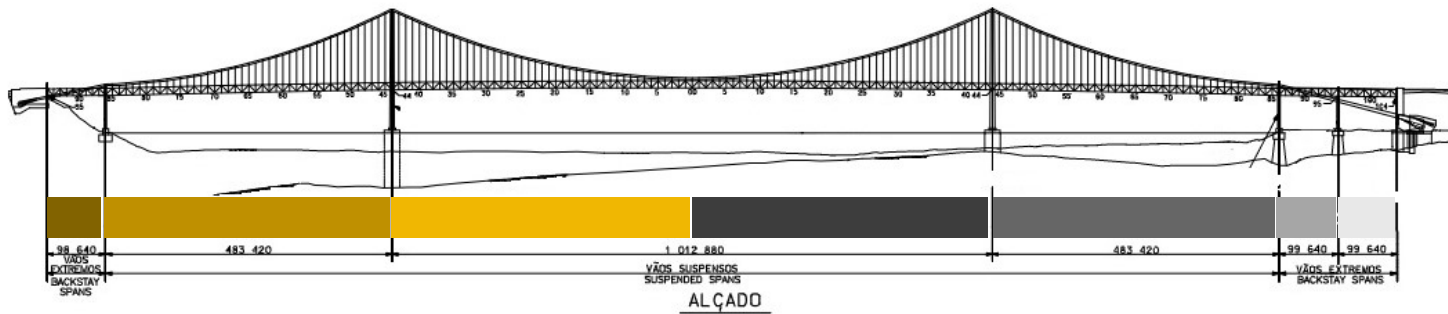
Cenário em 2012

Outros resultados – distribuição das fissuras pelo lado norte e lado sul



Cenário em 2012

Outros resultados – distribuição das fissuras por vão

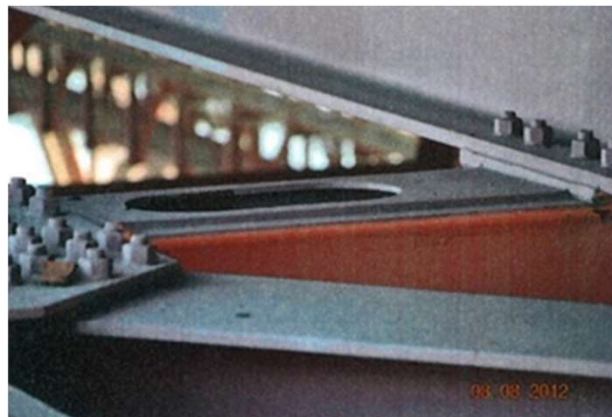


Cenário em 2012

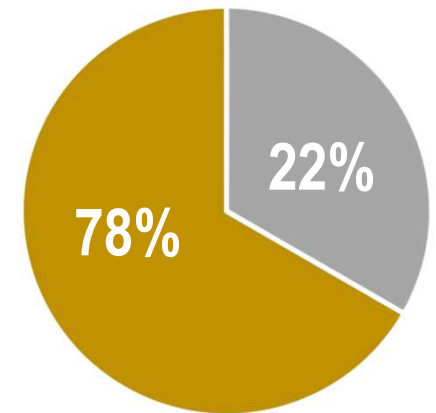
Outros resultados – distribuição das fissuras por “panel point”



“Panel point” par



“Panel point” ímpar

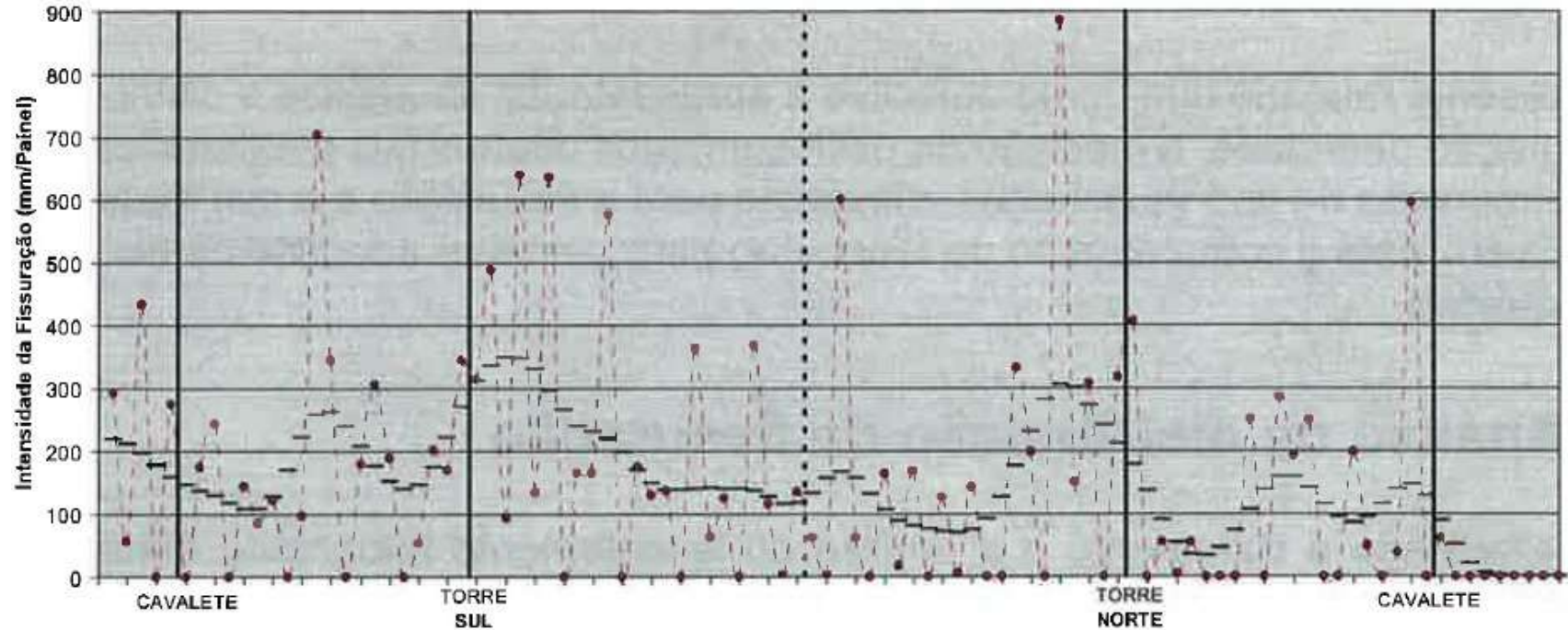


Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Metodologia:
 - Conjunto de cálculos com base na seguinte informação:
 - ❖ Somatório dos comprimentos de todas as fissuras: **17 metros**
 - ❖ Distribuição pelos “*panel points*” ímpares e pares era de **90%** e **10%**
 - ❖ Distribuição entre montante e jusante era de **55%** e **45%**
 - ❖ Distribuição entre norte e sul era de **40%** e **60%**
 - Distribuição espacial da intensidade da fissuração (“*panel points*” ímpares), por etapas
 - Medição e análise de extensões e deslocamentos

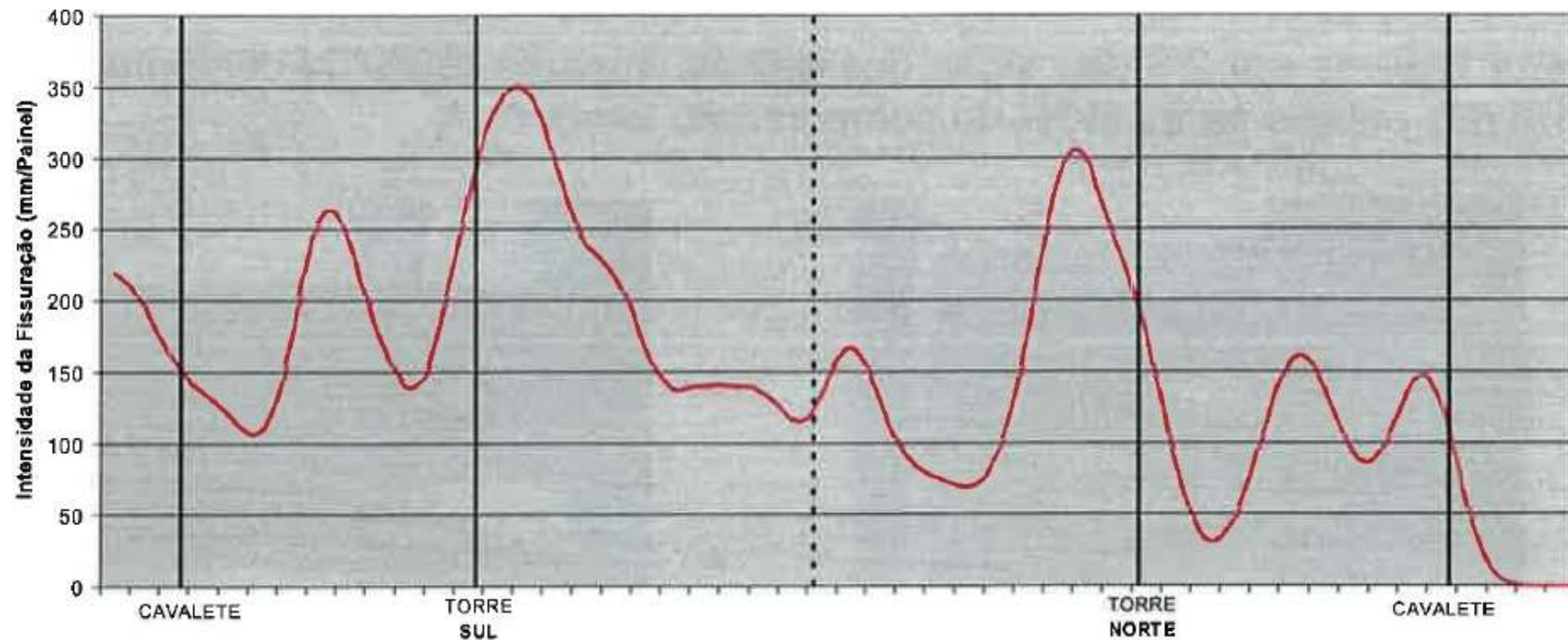
Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Distribuição espacial da intensidade da fissuração – etapa 1



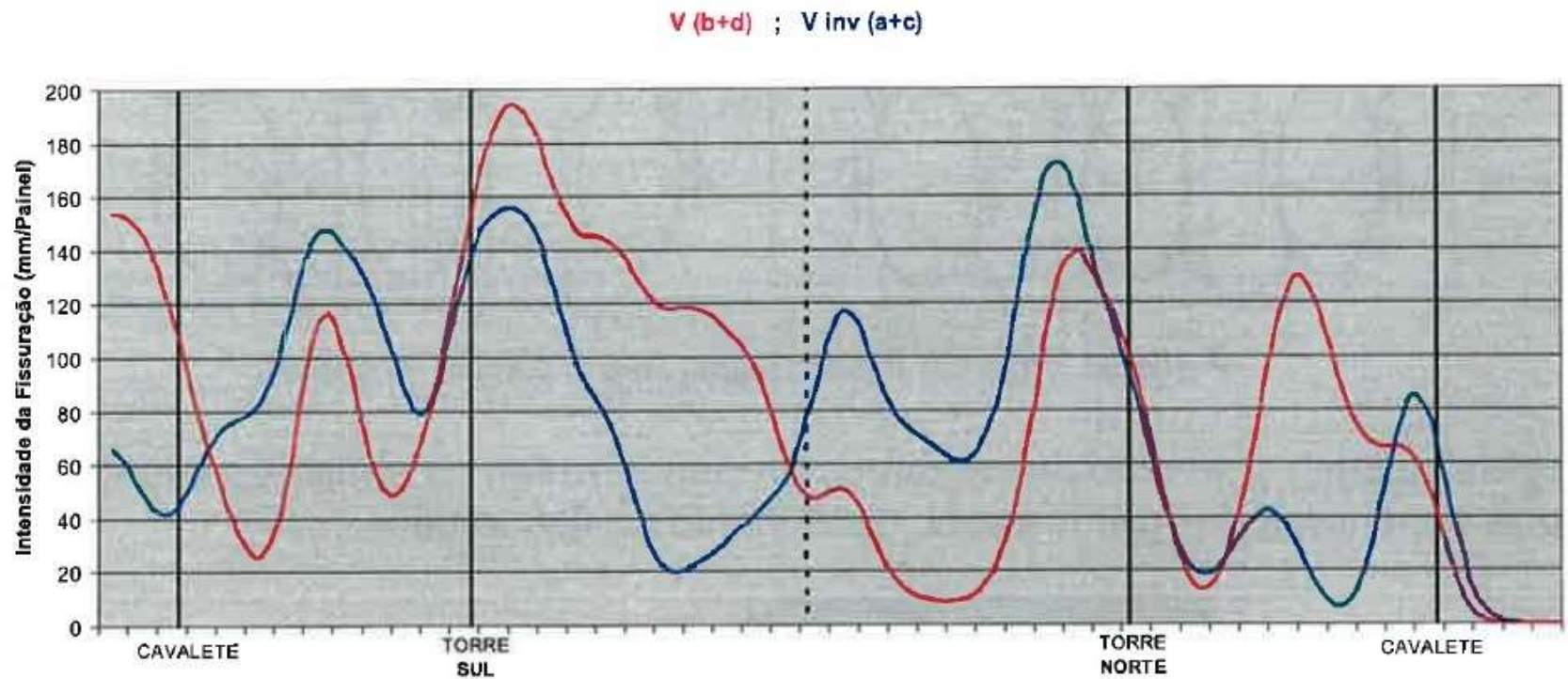
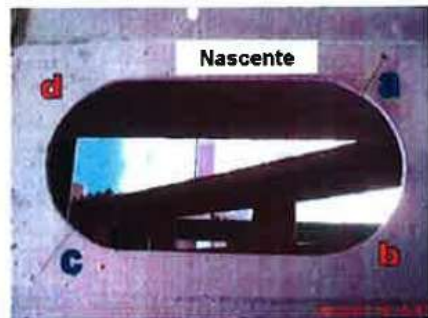
Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Distribuição espacial da intensidade média da fissuração – etapa 2



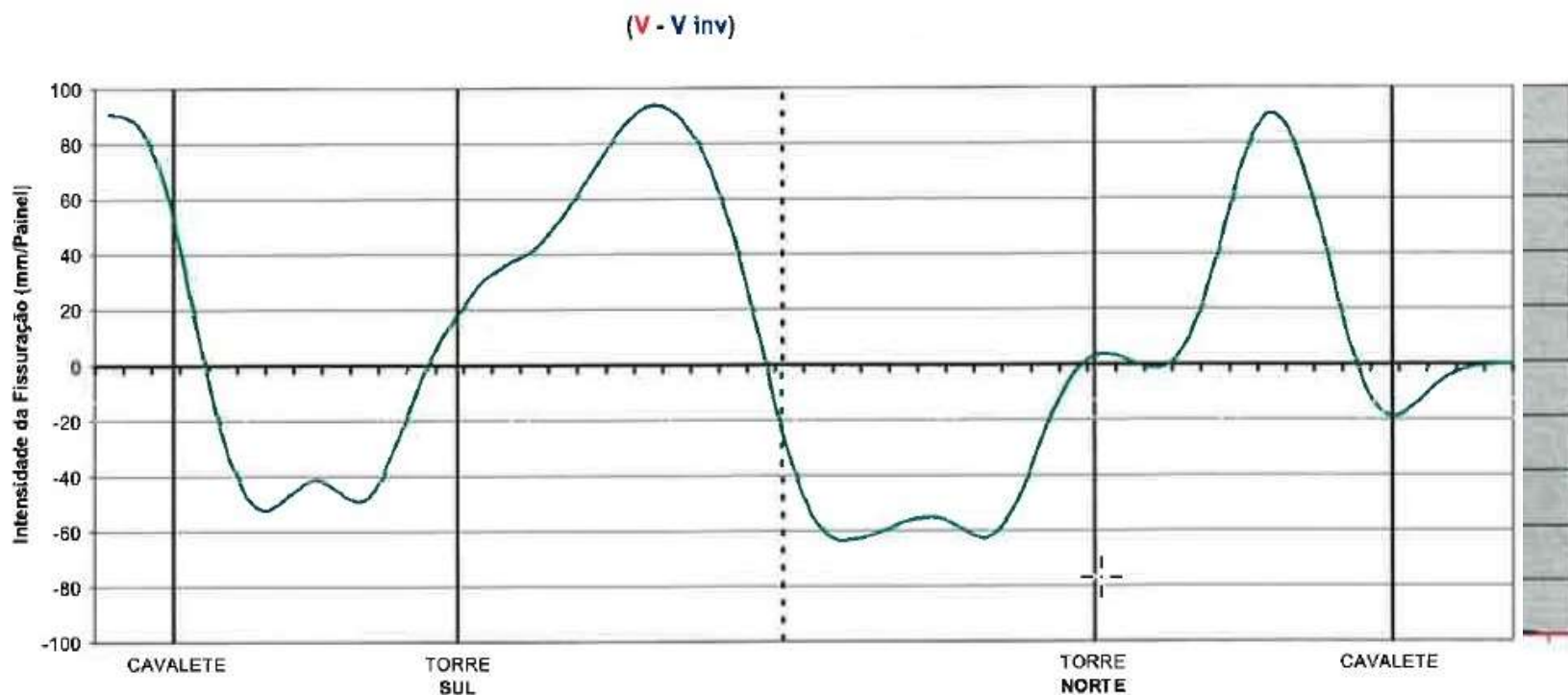
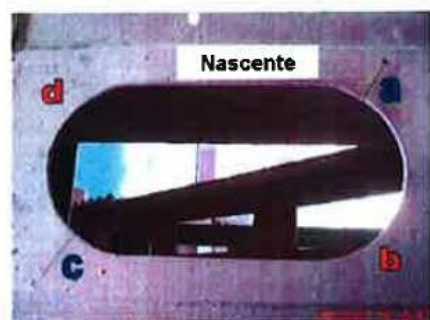
Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Distribuição espacial da intensidade da fissuração (b+d) e (a+c) – etapa 3



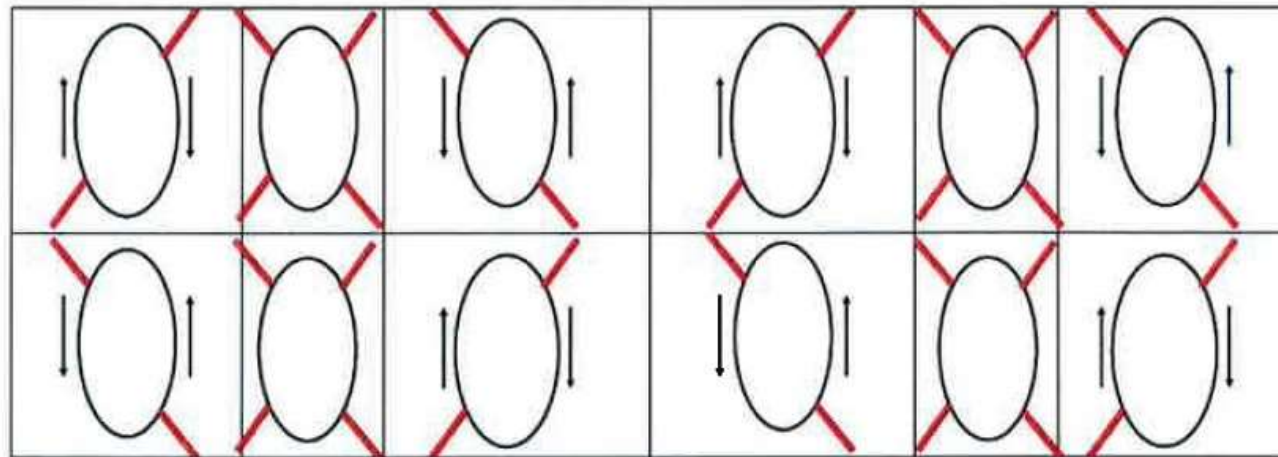
Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Distribuição espacial da diferença da intensidade da fissuração (b+d) e (a+c) – etapa 4



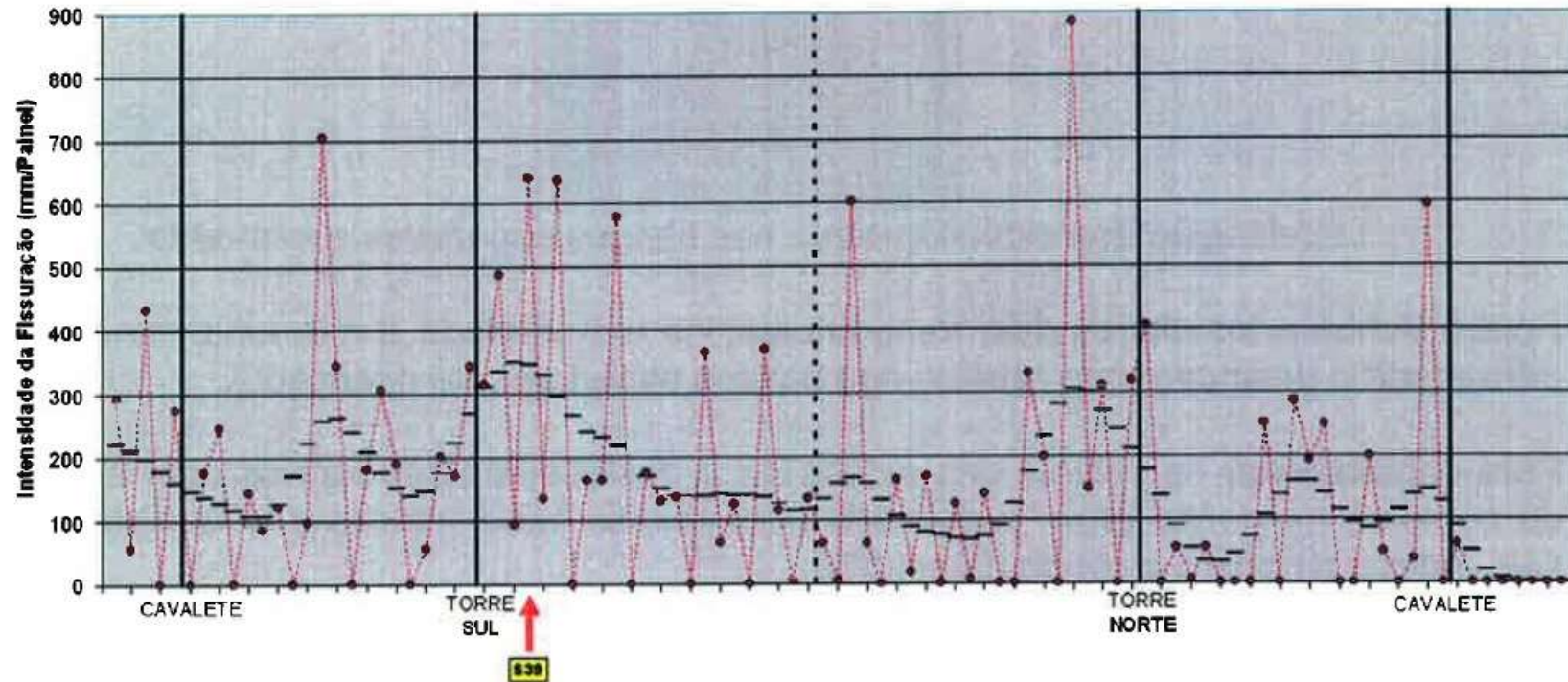
Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Padrão da fissuração – etapa 5



Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

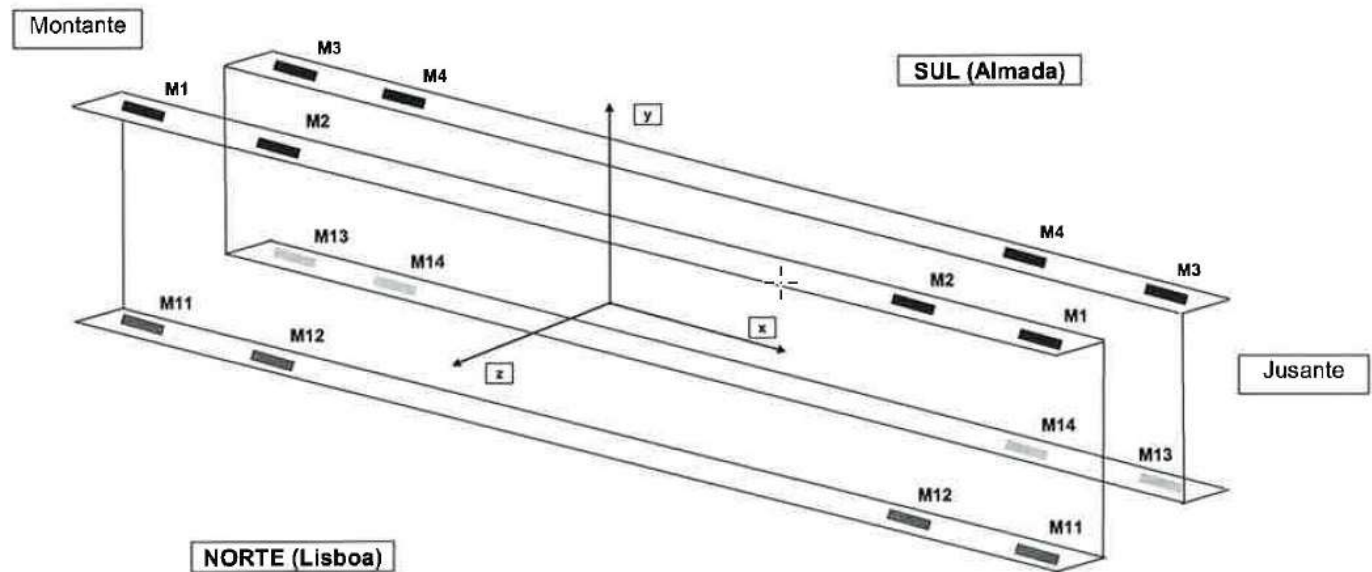
- Medição e análise das extensões e deslocamentos – seleção do “panel point” 39 sul



Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Medição e análise das extensões e deslocamentos – instrumentação

- ❖ Instrumentos colocados nos banzos dos 2 perfis “C” da corda superior da treliça
- ❖ Usados 16 extensómetros para obtenção das tensões
- ❖ Usados 2 transdutores para obtenção dos deslocamentos



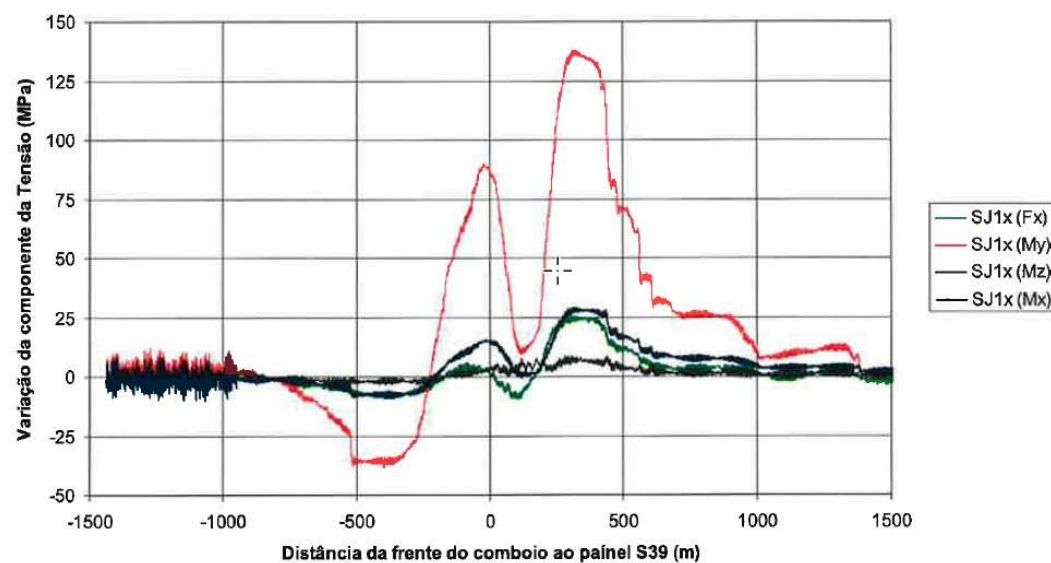
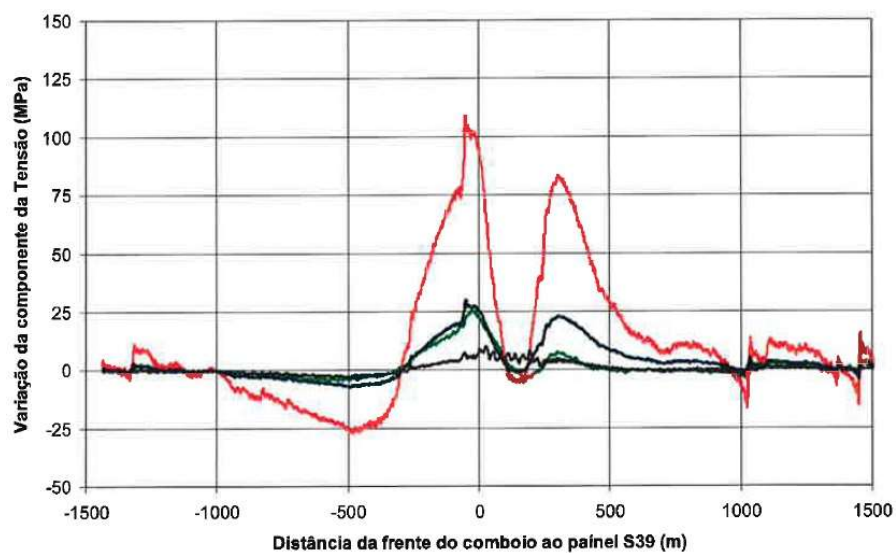
Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Medição e análise das extensões e deslocamentos – instrumentação
 - Dados adquiridos referem-se à passagem de um comboio, de norte para sul, com um comprimento total de cerca de 220 metros, às 16h45 do dia 30 de janeiro de 2013
 - Assumindo que a variação da tensão em cada secção transversal da viga é composta por:
 - ❖ $S_x (F_x)$ – Variação da tensão uniforme em toda a secção
 - ❖ $S_x (M_x)$ – Variação da tensão decorrente da torção e inibição do “*warping*”
 - ❖ $S_x (M_y)$ – Variação da tensão da flexão no plano horizontal
 - ❖ $S_x (M_z)$ – Variação da tensão decorrente da flexão no plano vertical

E uma vez que foi medida a variação da tensão nos 4 banzos de uma mesma secção transversal, pode-se determinar os valores destas componentes.

Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

- Medição e análise das extensões e deslocamentos – resultados



Apuramento das causas das fissuras – Estudo ISQ (2013)

Conclusões:

- As fissuras ocorreram maioritariamente nos “panel points” ímpares (ancoragem dos pendurais do cabo de suspensão secundário e apoio fixo intermédio das longarinas rodoviárias)
- As fissuras ocorreram maioritariamente na chapa superior de ligação dos perfis “C” – Tipologia I.
- Existia um padrão na fissuração ocorrida na corda superior da treliça transversal superior
- A causa das fissuras (por fadiga) foi a elevada amplitude de tensão nas extremidades da corda superior da treliça, provocada pela passagem de comboios. Esta elevada amplitude era originada pela flexão no plano horizontal $[S_x (My)]$ e torção e inibição do “warping” $[S_x (Mx)]$
- A flexão horizontal e a torção resultam da interação no plano horizontal entre a viga de rigidez e a estrutura do tabuleiro rodoviário (extremidades das longarinas rodoviárias impedidas de se movimentar)

Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

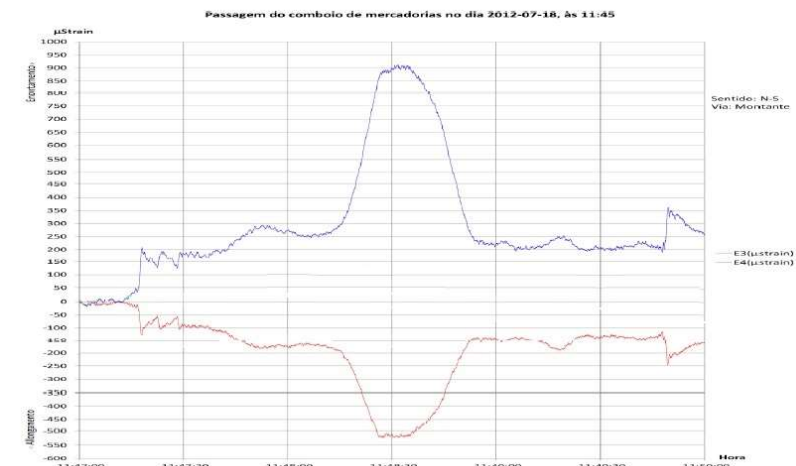
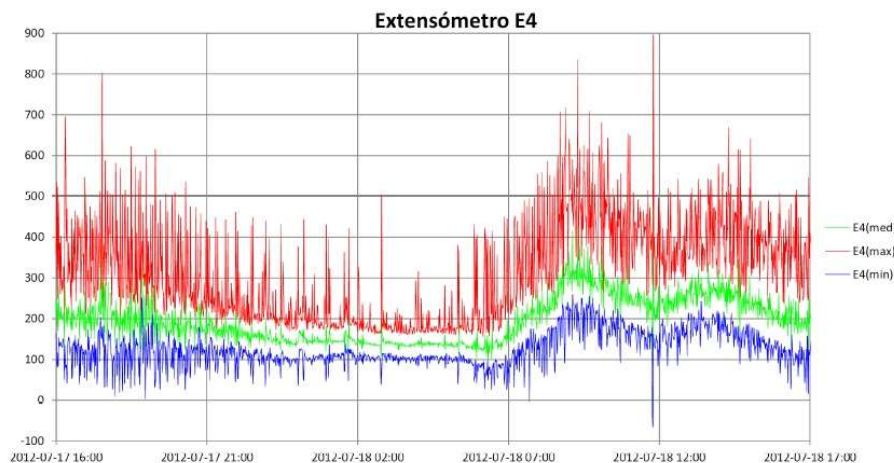
- Metodologia:
 - Medição das tensões com recurso a extensómetros
 - Simulações em computador (com recurso a modelos globais e locais da Ponte 25 de Abril)
 - Comparação dos resultados

Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

- Medição das tensões com recurso a extensómetros – seleção dos “*panel points*” 79 sul e 81 sul. Instalação dos extensómetros na corda superior da treliça transversal superior
 - ❖ Trabalho realizado pelo LNEC
 - ❖ Dados adquiridos correspondentes à passagem de um comboio

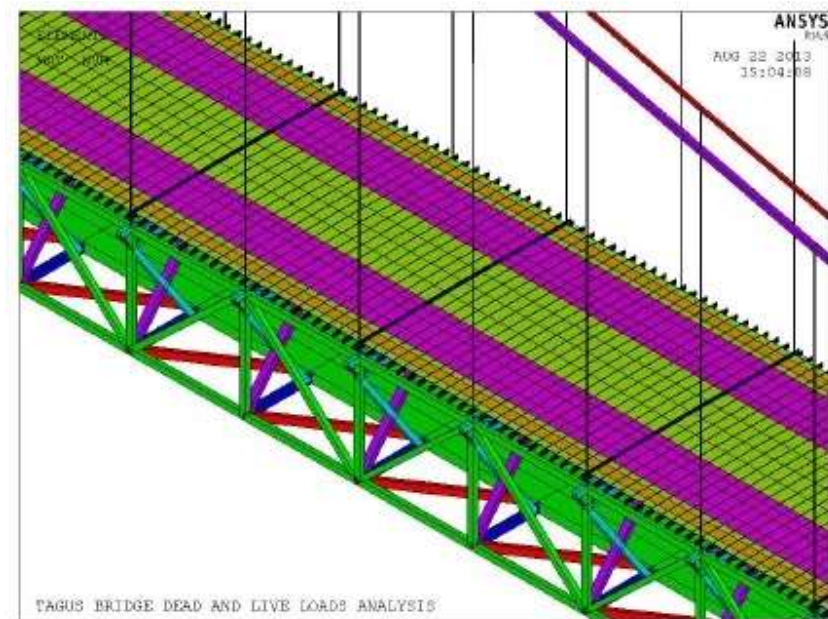
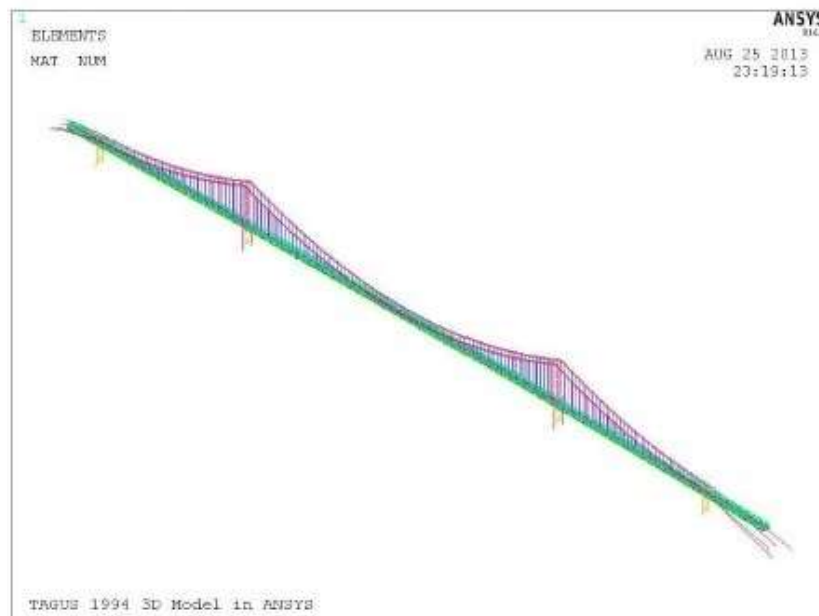
Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

- Medição das tensões com recurso a extensómetros – seleção dos “panel points” 79 sul e 81 sul. Instalação dos extensómetros na corda superior da treliça transversal superior
 - ❖ Tensões mínimas, médias e máximas registadas num dos extensómetros (Figura 1)
 - ❖ Pico de tensão em 2 extensómetros (Figura 2)



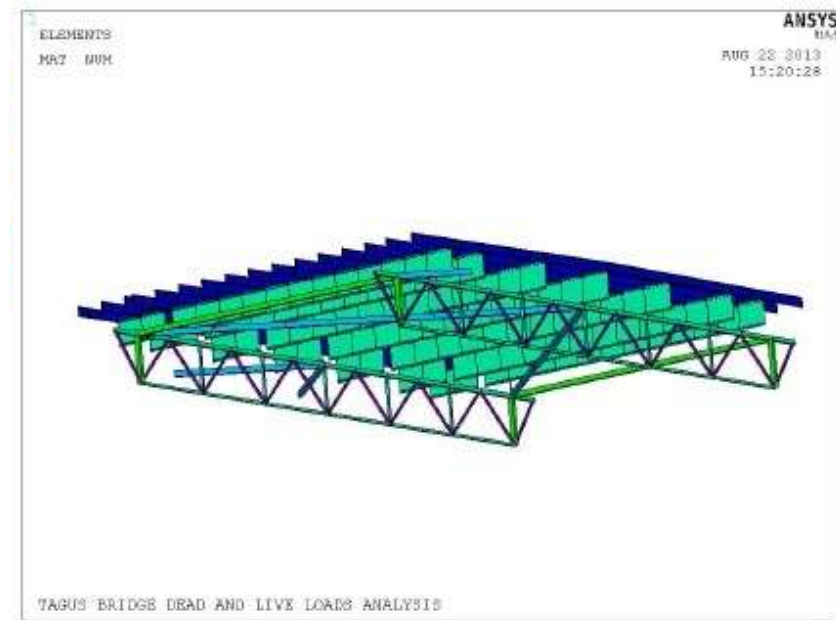
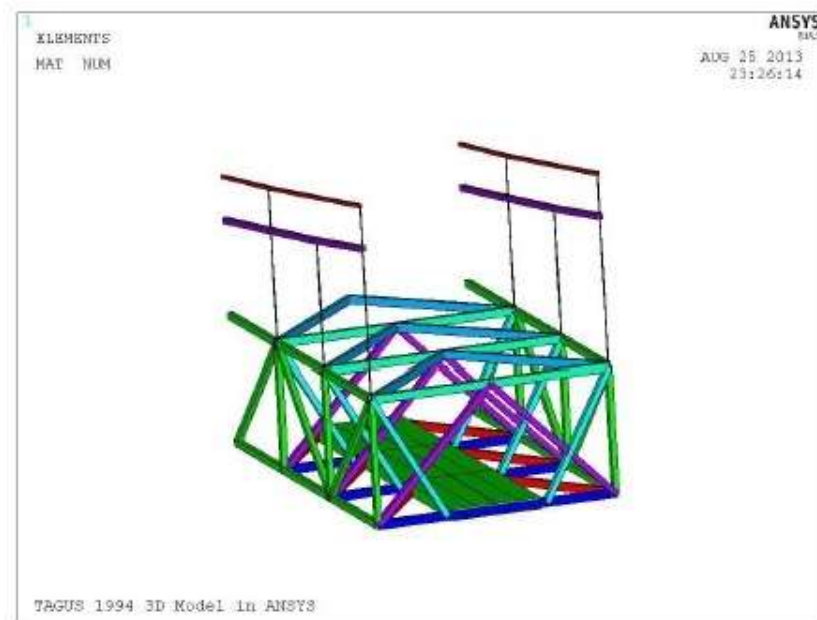
Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

- Simulações em computador
 - ❖ Modelos globais e locais da Ponte 25 de Abril



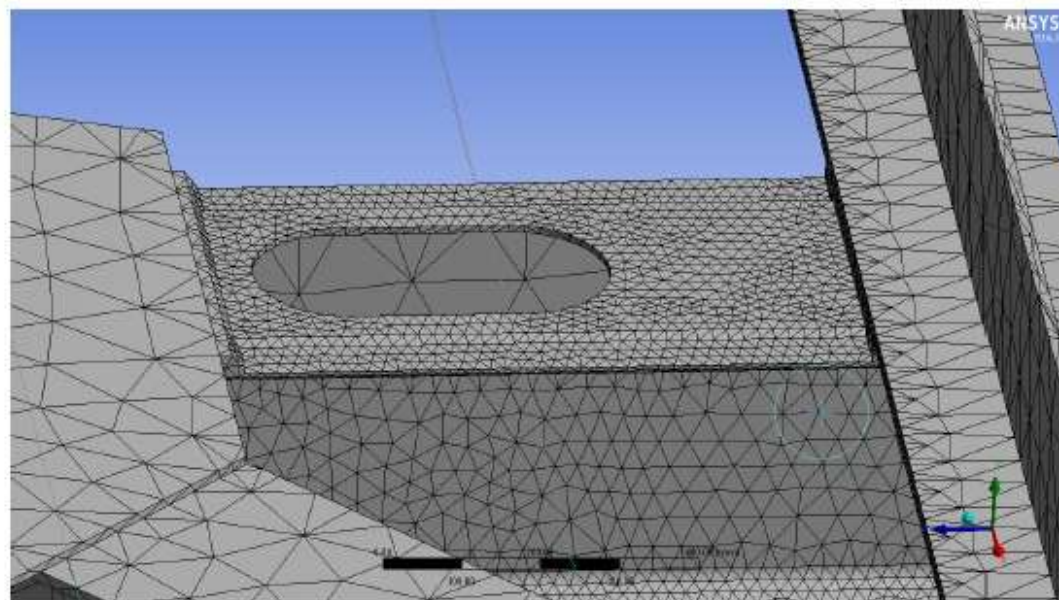
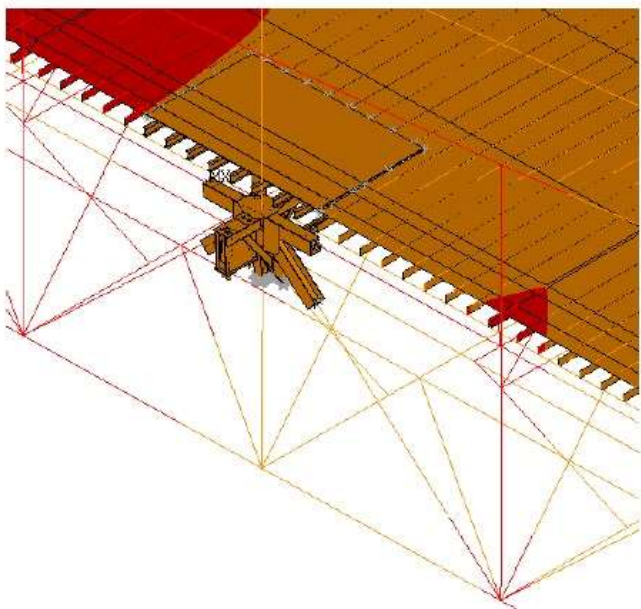
Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

- Simulações em computador
 - ❖ Modelos globais e locais da Ponte 25 de Abril



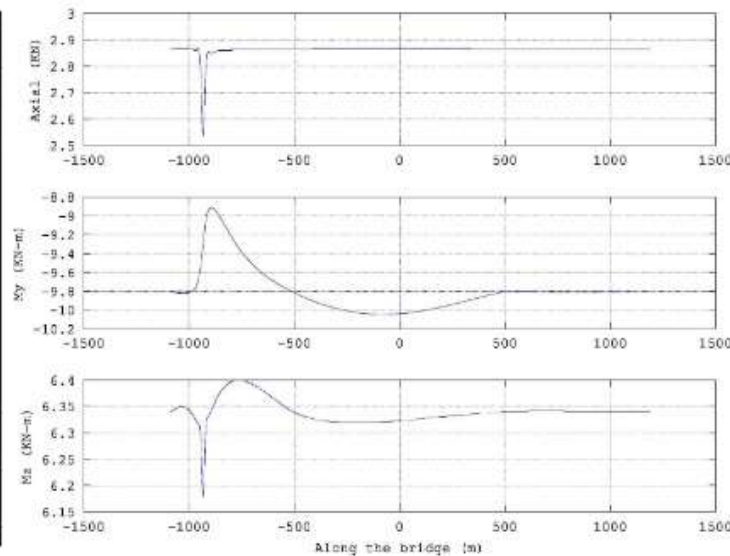
Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

- Simulações em computador
 - ❖ Modelos globais e locais da Ponte 25 de Abril



Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

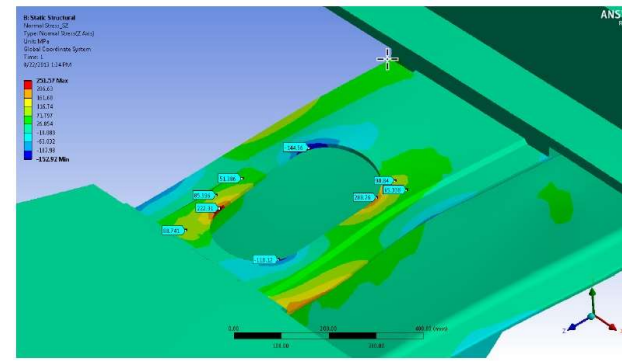
- Simulações em computador
 - ❖ Determinação das tensões no “panel point” 81 sul com base na linha de influência



Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

- Comparação dos resultados

- ❖ Cenário 1: extremidades das longarinas rodoviárias sem restrições de movimento
- ❖ Cenário 2: extremidades das longarinas rodoviárias com restrições de movimento

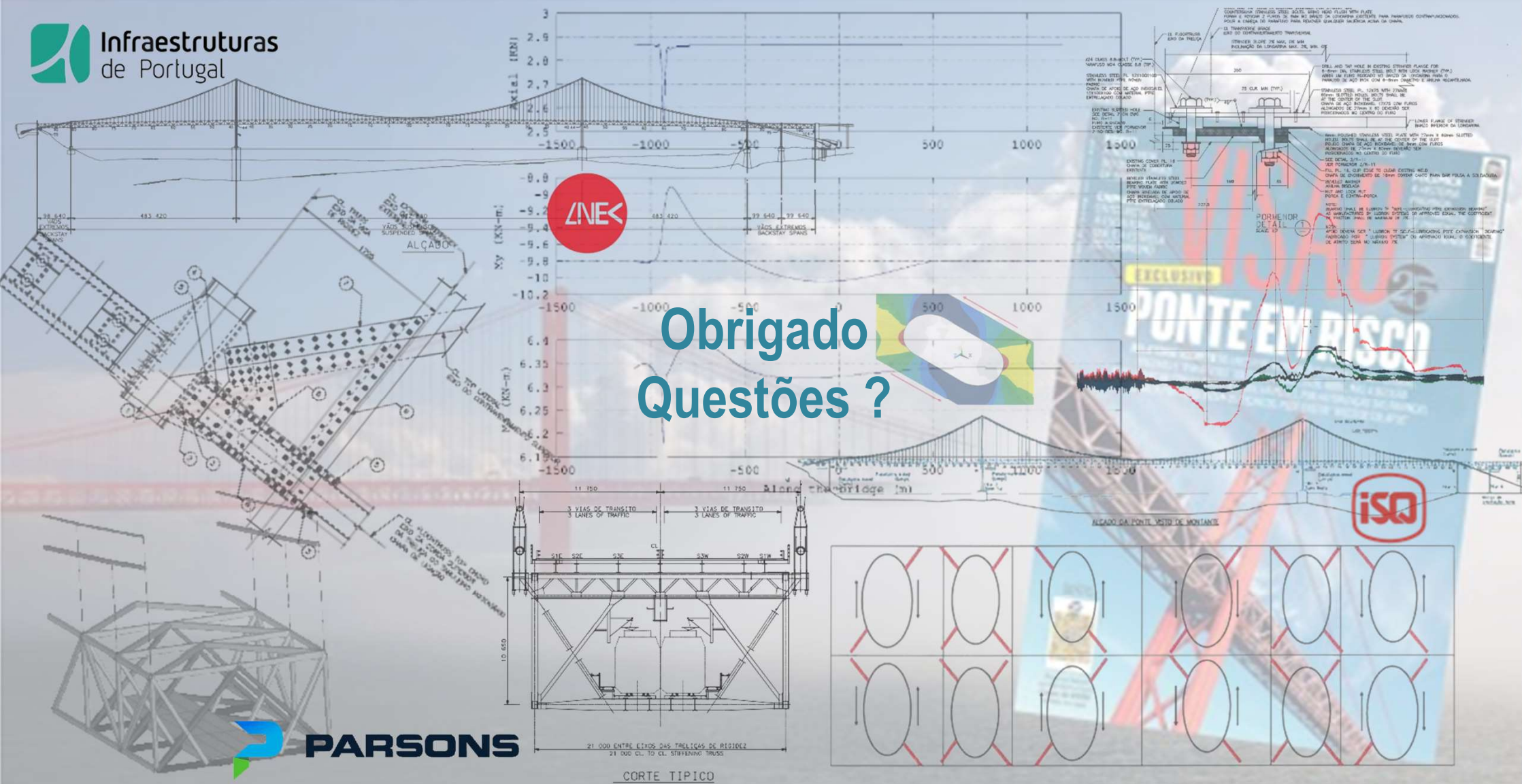


Location	Strain Gage	Global Model Scenario 2	Local Model Scenario 2	As-Built Scenario 1
E3	110	283	161	25
E4	186	392	206	49
Cut out	N/A	N/A	251	107

Apuramento das causas das fissuras – Estudo PARSONS (2013)

Conclusões:

- As extremidades das longarinas não se movimentavam como previsto no projeto
- O tabuleiro rodoviário começou a interagir com as deformações da viga de rigidez
- Tornou-se num elemento participativo no comportamento estrutural da viga rigidez
- Os “panel points” fixos às longarinas rodoviárias provocaram flexão transversal nas treliças e, consequentemente, tensões de fadiga na corda superior das treliças
- As zonas mais propícias de concentração das tensões de fadiga foram as aberturas na chapa de ligação dos perfis “C” da corda superior



Obrigado
Questões ?