

JPEE 2022 - SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE EDGAR CARDOSO



Paulo Silveira

Investigador Principal
Laboratório Nacional de
Engenharia Civil
Lisboa
paulo.silveira@lnec.pt



Tiago Coelho

Aluno de doutoramento
Laboratório Nacional de
Engenharia Civil
Lisboa
tcoelho@lnec.pt



Afonso Póvoa

Direção de Asset
Management – Unidade
Inspeção Norte
Infraestruturas de
Portugal, SA
Coimbra
afonso.povoa@infraestruturasdeportugal.pt



André Melrinho

Direção de Engenharia e
Ambiente – Unidade de
Topografia
Infraestruturas de
Portugal, SA
Almada
andre.melrinho@infraestruturasdeportugal.pt

SUMÁRIO

Por solicitação da Infraestruturas de Portugal, SA (IP), foi instalado, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), um sistema de monitorização na Ponte Edgar Cardoso, sobre o rio Mondego, na Figueira da Foz, com a finalidade de detetar eventuais anomalias nos tirantes, até ao início da empreitada de substituição do sistema de atirantamento.

Este sistema de monitorização constitui, conjuntamente com a monitorização topográfica realizada pela IP e com os ensaios de medição da força nos tirantes realizados pelo ViBest, um meio complementar às inspeções realizadas pelo LNEC. Deste modo, procura-se garantir que a exploração da ponte se faz com os necessários níveis de segurança.

Nesse contexto, na presente comunicação, após uma breve apresentação da obra de arte, descreve-se o sistema de monitorização estrutural instalado, referindo-se os aspetos considerados mais relevantes dos diversos elementos constituintes. Descrevem-se, também, os efeitos estruturais decorrentes da perda de rigidez dos tirantes, para além de se apresentarem exemplos do tipo de informação obtidos com este sistema de monitorização.

Palavras-chave: Monitorização estrutural / Ponte de tirantes / Segurança estrutural

1. INTRODUÇÃO

A Ponte Edgar Cardoso, inaugurada em 12 de março de 1982, foi submetida a importantes obras de reabilitação iniciadas em 2003 e concluídas em 28 de julho de 2005.

Estas obras incidiram, quer sobre a ponte, quer sobre os viadutos de acesso, tendo o respetivo projeto, datado de julho de 2001, sido coordenado pelos Engenheiros Armando Rito e Júlio Appleton.

No que diz respeito à ponte, propriamente dita, a sua reabilitação incluiu o reforço das travessas superior das torres, pela adição um pré-esforço exterior, a substituição e reforço da ligação do tabuleiro aos pilares de transição e uma reabilitação geral da estrutura, que consistiu na reparação das selas dos tirantes, na proteção dos elementos metálicos e na reparação e proteção da superfície de betão das torres.

Passados cerca de 40 anos da entrada em serviço desta ponte, verificou-se ser necessário efetuar novos trabalhos de reabilitação e reforço, os quais irão incluir a substituição dos tirantes existentes, a reparação e proteção das superfícies metálicas e de betão e o melhoramento da amarração do tabuleiro da ponte aos pilares de transição.

Por este motivo, a Infraestruturas de Portugal, SA (IP), solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), a instalação de um sistema de monitorização na Ponte do Edgar Cardoso, que funcionará conjuntamente com a monitorização topográfica realizada pela IP. Este sistema tem a finalidade de detetar eventuais anomalias, até ao início da empreitada de substituição do sistema de atirantamento.

2. DESCRIÇÃO DA OBRA

A Ponte Edgar Cardoso foi a primeira ponte de tirantes construída em Portugal (Figura 1).



Figura 1. Vista geral da ponte

Trata-se de uma obra constituída pela ponte atirantada, que transpõe o rio Mondego, e por dois viadutos de acesso, perfazendo um comprimento total de 1350 m. O seu perfil transversal é constituído por uma plataforma de 20,6 m de largura, compreendendo duas faixas de rodagem de 7,5 m cada, dois passeios laterais de 2,3 m cada e um separador central de 1,0 m.

A ponte de tirantes é constituída por três vãos, tendo o vão central 225 m e os vãos laterais 90 m, perfazendo uma extensão total de 405 m. O tabuleiro é uma estrutura mista aço-betão

constituída por uma laje de betão armado e por duas vigas principais interligadas por carlingas (Figura 2).

O tabuleiro da ponte encontra-se fixo aos pilares de transição através de barras de aço de alta resistência e apoiado nas torres através de aparelhos de apoio metálicos.

A suspensão do tabuleiro é realizada através de 12 tirantes contínuos, dispostos em forma de leque, desviados em selas localizadas no topo das torres e ancorados nas vigas principais, com um intervalo de 30 m. Os tirantes são constituídos por fios de aço galvanizados com 5 mm de diâmetro e uma tensão de rotura compreendida entre 1600 e 1800 MPa, protegidos por fios de aço de enrolamento galvanizados e pintados.

As torres, em betão armado, são constituídas por quatro fustes inclinados de secção retangular vazada, unidos dois a dois no topo através de uma travessa de secção quadrada vazada (Figura 3). Ao nível do tabuleiro, as torres estão interligadas por vigas de travamento, nas quais estão apoiadas as vigas principais do tramo suspenso.

As fundações das torres são semidirectas através de poços de fundação ocos, de 5 m de diâmetro exterior, interligados por vigas de travamento, pré-esforçadas.

No vão central da ponte existe um tramo isostático com 30 m de comprimento, apoiado por meio de aparelhos de apoio móveis, na sua extremidade norte, e por meio de aparelhos de apoio fixos na sua extremidade sul.

O viaduto de acesso da margem norte tem um comprimento de 315 m e está dividido em sete tramos, enquanto o viaduto da margem sul tem 630 m de comprimento e está dividido em catorze tramos. Em planta, o viaduto da margem sul desenvolve-se numa curva com raio de 613,6 m.



Figura 2. Vista inferior do tabuleiro



Figura 3. Vista da Torre Norte

3. MONITORIZAÇÃO ESTRUTURAL

A monitorização estrutural desta ponte foi definida com base num estudo efetuado para determinar quais as grandezas mais afetadas pela rotura dos fios dos tirantes, tendo-se

verificado que as maiores alterações ocorreriam, quer nos esforços, quer nas deformadas das vigas principais do tabuleiro, nas secções situadas mais próximo das ancoragens dos tirantes.

Por este motivo o sistema de monitorização do LNEC foi concebido para efetuar a medição de extensões, com extensómetros elétricos de resistência. A medição dos deslocamentos verticais é efetuada pela IP, com uma estação total.

São ainda monitorizadas as variações da largura das juntas de dilatação, de modo a poder verificar o seu funcionamento e também as variações de temperatura nos elementos estruturais e ainda a velocidade e direção do vento.

3.1 Sistema de monitorização

A medição dos valores obtidos com os sensores instalados na estrutura é efetuada automaticamente com recurso a subunidades de aquisição, que se encontram ligados por meio de uma rede interna a uma unidade de controlo, que por sua vez se encontra ligada a um computador industrial, que permite fazer a gestão e o pré-tratamento dos dados obtidos. Este computador é acessível, remotamente, por meio de um router celular, que permite controlar remotamente do sistema de aquisição e também a transmissão dos dados obtidos.

O armazenamento e a disponibilização destes dados é efetuado num servidor através de uma página Web que pode ser acedida pelos intervenientes neste processo. As medições dos diferentes sensores estão disponíveis sob a forma de gráficos e ficheiros de dados.

No caso das extensões, a frequência de amostragem utilizada pelo sistema de aquisição é de 100 Hz. As séries temporais assim adquiridas são filtradas com um filtro do tipo passa baixo, com uma frequência de corte de 25 Hz. Após filtragem, as séries temporais são decimadas para 50 Hz.

3.2 Monitorização de extensões

As extensões são medidas em dez secções nas vigas principais de montante e jusante, em fibras afastadas, na vertical de 1800 mm e também nas longarinas do tramo simplesmente apoiada, em fibras afastadas de 400 mm, o que perfaz vinte e quatro secções instrumentadas com extensómetros.

A montagem utilizada permite medir as variações das diferenças de extensão entre fibras afastadas dos valores já referidos, possibilitando, por isso, uma medição indireta das variações dos momentos fletores. Esta montagem amplifica, para o dobro, as variações das diferenças de extensão.

Aos valores positivos da diferença entre as extensões medidas nas fibras superiores e inferiores ($\Delta(\epsilon_{sup} - \epsilon_{inf})$) corresponde um encurtamento nas fibras superiores (ver Figura 3.3) e a variação do momento fletor (Δ_{Mom}) pode ser obtida a partir da variação das extensões utilizando a expressão: $\Delta_{Mom} = \Delta(\epsilon_{sup} - \epsilon_{inf}) \times 8,66 \text{ kN.m}$.

3.3 Monitorização dos deslocamentos

A monitorização topográfica da ponte é efetuada pela IP, recorrendo a uma estação total Leica Nova TM50i e ao software Leica GeoMoS Monitor.

Existem 35 alvos montados sobre as vigas longitudinais do tabuleiro e são efetuados ciclos contínuos de leitura, sendo a duração desses ciclos cerca de meia hora, o que corresponde ao tempo necessário para fazer a pontaria e a determinação da posição segundo os eixos X, Y, Z.

3.4 Monitorização da largura das juntas de dilatação

A monitorização da largura da junta de dilatação do tramo simplesmente apoiado é efetuada com recurso a transdutores de deslocamentos magnetostritivos, cujo funcionamento se baseia no facto de as dimensões dos materiais ferromagnéticos se alterarem em função dos campos magnéticos aplicados.

Estes transdutores são formados por um fio ou banda ferromagnética em torno da qual se faz gerar um campo magnético circular e por um cursor constituído por um íman permanente.

O posicionamento do cursor afeta o campo magnético gerado, produzindo uma deformação elástica do material ferromagnético, que o percorre em forma de onda. Esta onda é detetada por uma bobina montada numa das extremidades do fio ferromagnético, que a converte em sinal elétrico.

3.5 Monitorização das temperaturas e da temperatura e humidade relativa do ar

O sistema de monitorização efetua a medição da temperatura nas vigas metálicas e na laje de betão do tabuleiro e ainda a medição da temperatura e humidade relativa do ar.

As temperaturas são medidas com termómetros de platina, do tipo PT100, cuja resistência aumenta proporcionalmente à temperatura.

A medição da humidade relativa do ar é efetuada com um sensor capacitivo constituído por uma película fina de polímero colocada entre dois elétrodos.

3.6 Monitorização da velocidade e direção do vento

A monitorização da velocidade e direção do vento é efetuada com recurso a um anemómetro de hélice. Neste anemómetro a velocidade do vento é medida com recurso a um transdutor formado por uma bobina e por um íman, cuja rotação induz um sinal com frequência proporcional à velocidade do vento. A direção do vento é medida com um sensor potenciométrico.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se alguns dos resultados obtidos com este sistema de monitorização.

4.1 Extensões

Na Figura 4 apresenta-se um gráfico com os valores médios, em dez minutos, das variações das diferenças das extensões medidas na secção situada junto à ancoragem do tirante curto do tramo lateral norte, da viga de jusante.

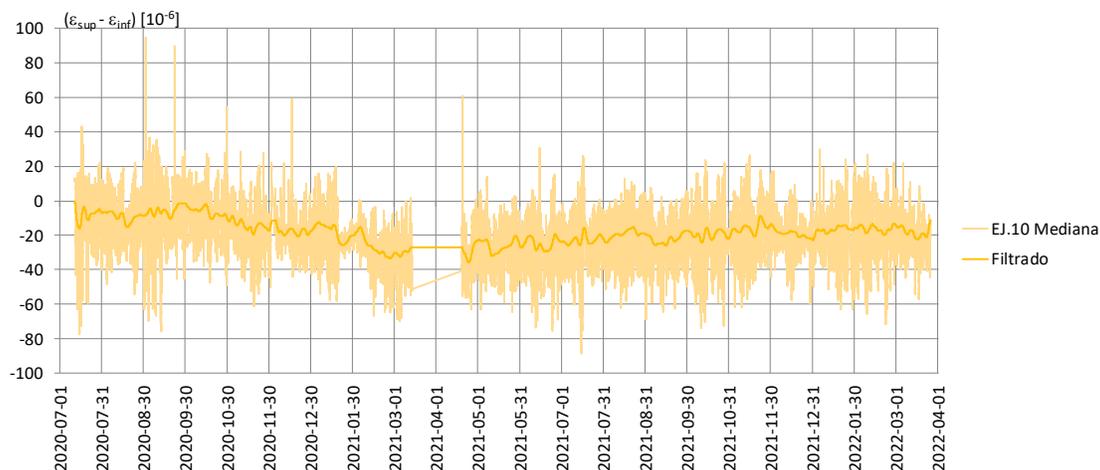


Figura 4. Extensões da viga de jusante, na secção da ancoragem do tirante curto do tramo lateral norte

Na Figura 5 podem ver-se os gráficos correspondentes às variações das diferenças das extensões provocadas pela passagem de veículos, nas secções situadas junto às ancoragens dos tirantes curtos dos tramos laterais norte e sul.

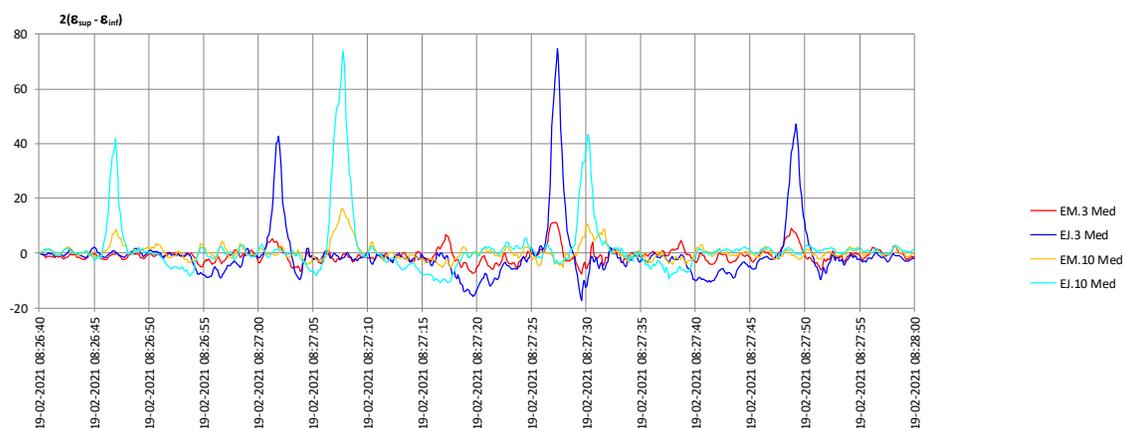


Figura 5. Extensões nas secções da ancoragem dos tirantes curtos dos tramos laterais sul e norte

Nesta figura é possível observar o efeito da passagem de três veículos pesados na via de jusante.

Os valores das extensões e a diferença de tempo entre os máximos das curvas permitem calcular as variações nos momentos fletores, a velocidade dos veículos e os respetivos pesos.

4.2 Deslocamentos verticais

Na Figura 6 apresenta-se um gráfico com os valores dos deslocamentos verticais medidos na secção situada junto à ancoragem do tirante curto do tramo lateral norte, da viga de jusante.

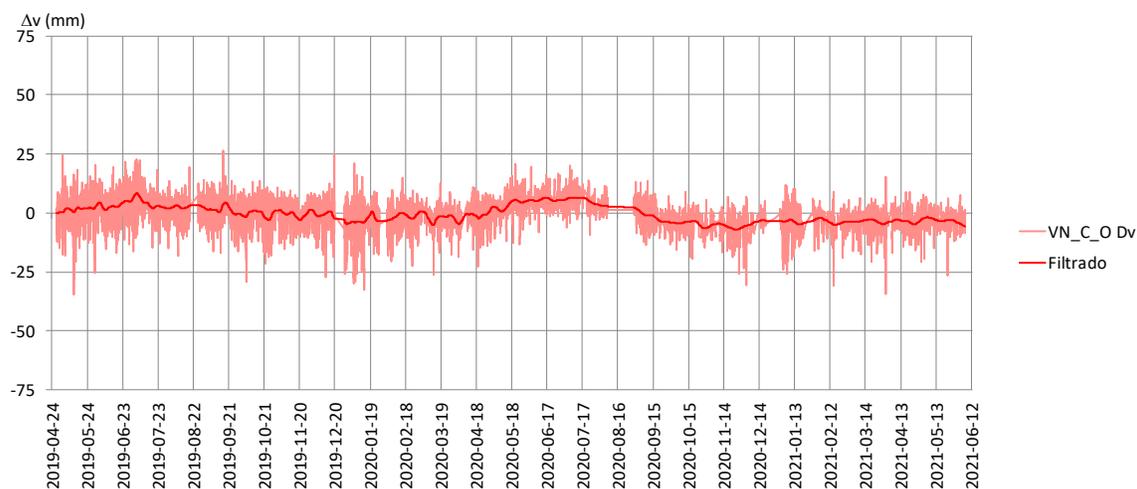


Figura 6. Deslocamentos verticais da viga de jusante, na secção da ancoragem do tirante curto do tramo lateral norte

4.3 Largura das juntas de dilatação

Na Figura 7 apresenta-se um gráfico com os valores médios, em dez minutos, das variações da largura da junta de dilatação do tramo simplesmente apoiado.

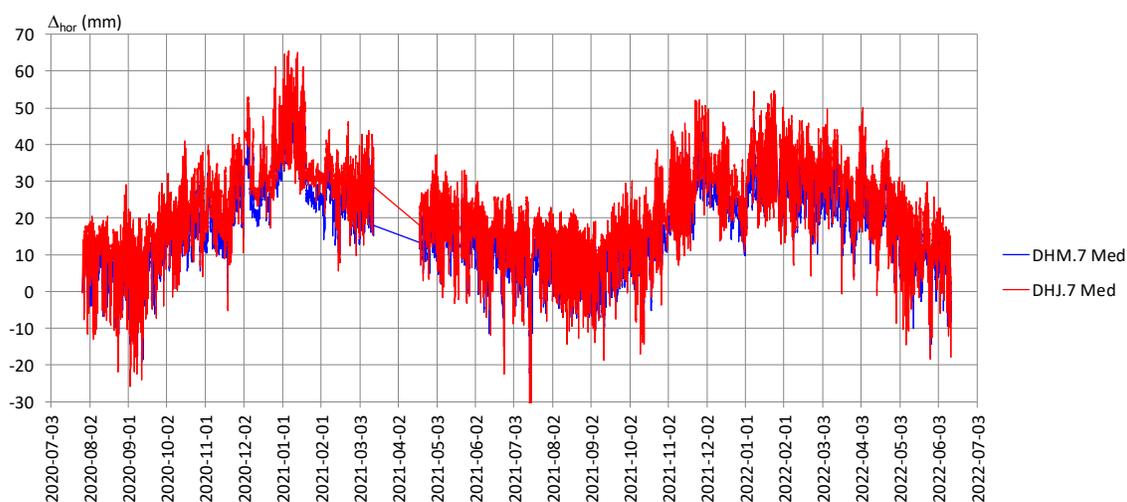


Figura 7. Largura da junta de dilatação do tramo simplesmente apoiado

4.4 Temperaturas e humidade relativa do ar

Na Figura 8 apresenta-se um gráfico com os valores médios, em dez minutos, das temperaturas medidas.

Dado que as variações climáticas apresentam ciclos anuais e semanais, apresentam-se, na Figura 9 os valores das temperaturas medidas filtrados com uma frequência de corte semanal, e no caso da temperatura do ar apresentam-se ainda os valores filtrados com uma frequência de corte mensal.

Os valores assim filtrados permitem obter uma melhor percepção do modo como variaram as temperaturas nesta obra e também as diferenças que se verificam entre as temperaturas da laje de betão, das vigas metálicas e do ar.

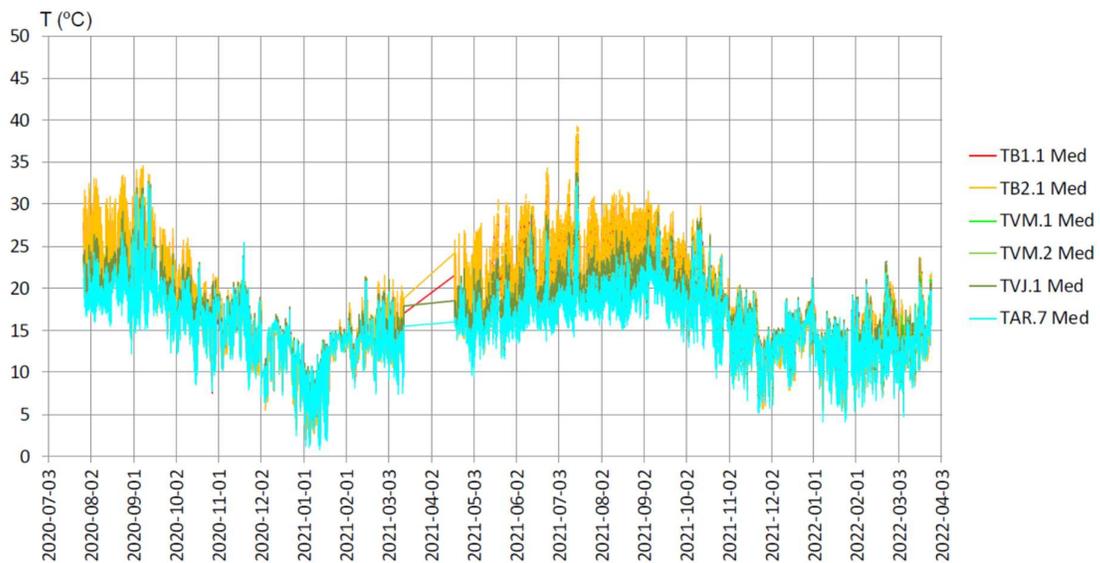


Figura 8. Temperaturas medidas



Figura 9. Valores filtrados das temperaturas medidas

4.5 Velocidade e direção do vento

Na Figura 10 apresentam-se os valores correspondentes à velocidade do vento. Nesta figura, a curva a azul corresponde aos valores da velocidade média do vento, obtida em períodos de 10 minutos, a curva a laranja à velocidade máxima do vento, para períodos de 10 minutos e a curva a vermelho à envolvente da velocidade máxima do vento, para períodos de 24 horas.

Na Figura 11 apresenta-se a frequência relativa da direção do vento para as várias direções.

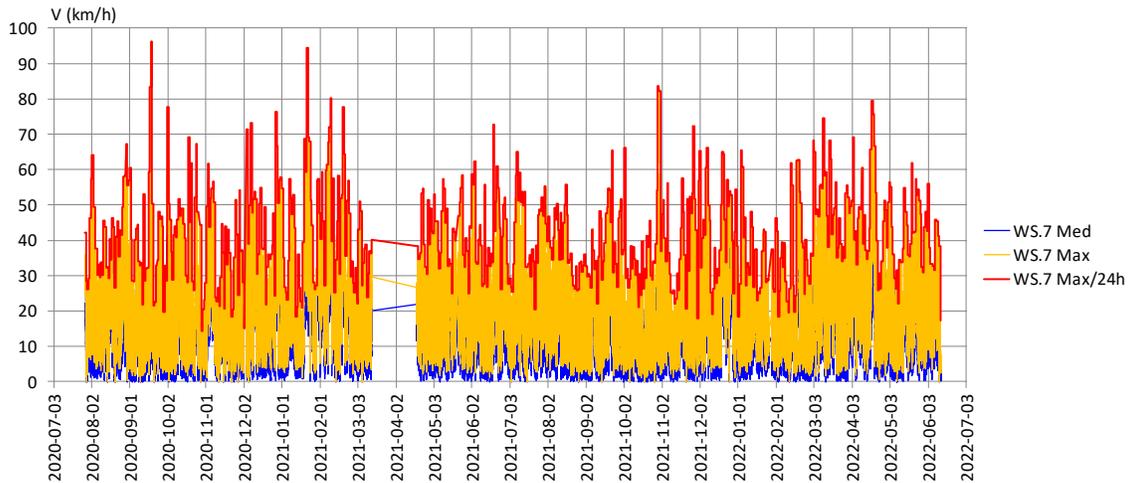


Figura 10. Velocidade do vento: valores médios, máximos em 10 minutos e máximos em 24 horas

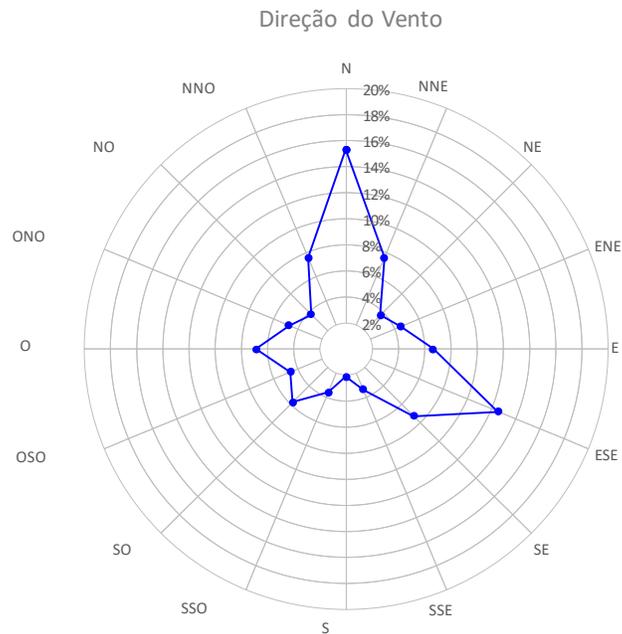


Figura 11. Frequência relativa da direção do vento para todas as velocidades

Esta frequência depende muito das velocidades consideradas, pelo que se apresentam na Figura 12 e na Figura 13, os gráficos polares, respetivamente, para velocidades compreendidas entre 20 km/h e 40 km/h e para velocidades superiores a 80 km/h.

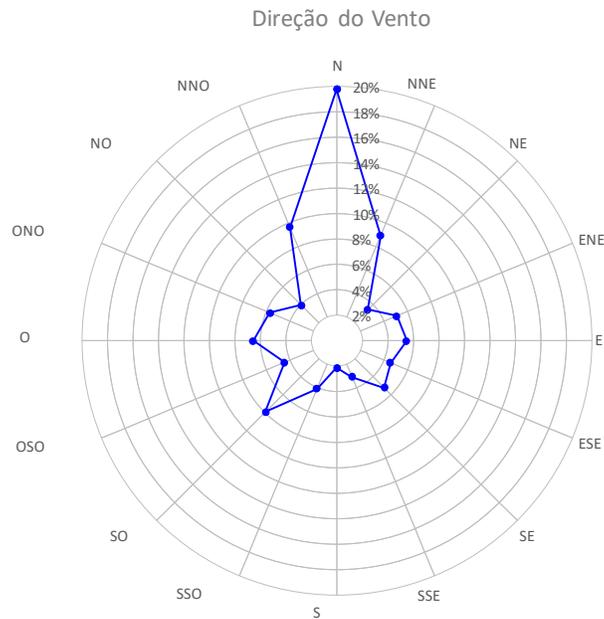


Figura 12. Frequência relativa da direção do vento para velocidades compreendidas entre 20 km/h e 40 km/h

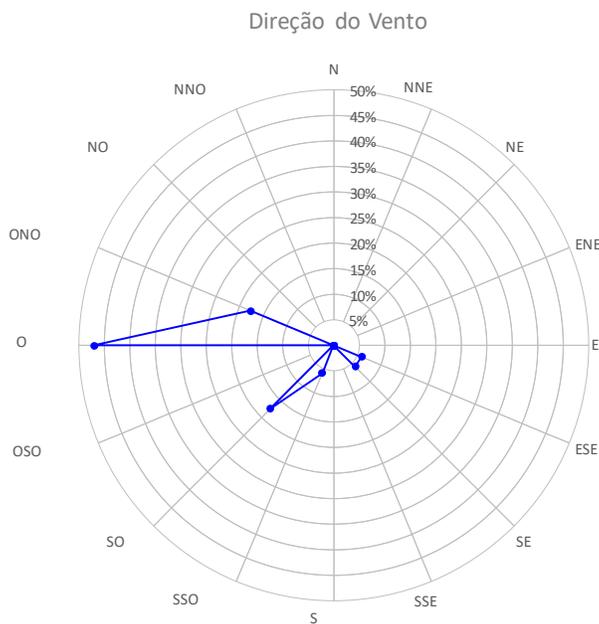


Figura 13. Frequência relativa da direção do vento para velocidades superiores a 80 km/h

Na Figura 14 apresenta-se um histograma das frequências relativas da velocidade do vento.

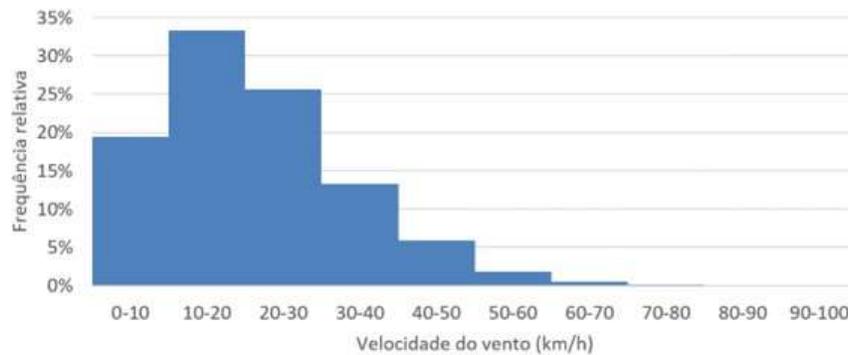


Figura 14. Histograma da frequência relativa velocidade do vento

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na análise dos dados obtidos, relativamente à resposta da estrutura às diversas ações a que se encontra sujeita, deve ter-se em atenção que a influência que as diversas ações têm nas respostas estruturais depende muito da grandeza que se encontra a ser medida.

Assim, as extensões são influenciadas pela passagem do tráfego e pela ação do vento em conjunto com outras ações térmicas ambientais, designadamente a radiação solar e a temperatura do ar, que condicionam as variações uniformes e diferenciais da temperatura dos diversos elementos estruturais.

A análise do comportamento estrutural da Ponte Edgar Cardoso é feita com base na definição automática de limites de segurança, impostos a cada grandeza adquirida, e posterior comparação destes com os valores adquiridos pelos sensores ao longo do tempo, tal como descrito em (SILVEIRA [1]).

A definição destes limites é feita com base na análise estatística da evolução e variabilidade observadas em cada resposta estrutural, em função das ações atuantes, permitindo assim que possam ser detetadas alterações tão precocemente quanto possível e antes de estas evoluírem para danos (SANTOS [2]).

O primeiro passo na definição automática de limites de segurança estatísticos consiste na modelação das respostas em função das ações, por forma a que variações mais ou menos importantes das segundas não deem origem a falsos alertas na análise das primeiras. Assumindo que a Ponte Edgar Cardoso apresenta comportamento linear, ou quase-linear, na relação entre as respostas e as ações ou nas relações entre respostas, recorre-se assim a regressão linear multivariada - RLM (SANTOS [2]) para descrever a relação entre d ações medidas *in situ*, organizadas em matriz $X_{n,q}$, e cada resposta estrutural, representada pelo vetor Y_n . Esta relação, apresentada na Equação (1), permite estimar a variável Y a partir das d variáveis X através de um conjunto de coeficientes de regressão U_q , que são definidos através da minimização da soma dos erros residuais ao quadrado. O índice $q=d+1$ exprime o número de parâmetros considerados no modelo, que consiste no número de variáveis de entrada, adicionado do parâmetro constante, comumente apelidado de ordenada na origem. A grandeza Re constitui o vetor de erros residuais associados à estimativa de Y com recurso

a X, e que é comumente assumido, em monitorização, como a grandeza Y livre dos efeitos das ações X.

$$Y_n = X_{n,q}U_q + Re_n \quad (1)$$

Na Ponte Edgar Cardoso estabelece-se um modelo de regressão como o descrito na Equação (1) para cada resposta estrutural medida, Y, seja esta deslocamento ou extensão. As ações a considerar no modelo, X, consistem nas temperaturas.

Após a modelação das respostas estruturais, os limites de segurança são definidos com recurso a testes estatísticos de localização do valor esperado dos erros residuais, Re, obtidos da definição das relações ações-resposta e com um nível confiança β . O intervalo de confiança obtido do teste estatístico ao valor esperado, cuja expressão se apresenta na Equação (2), é assim usado diretamente na definição dos limites de confiança que, com recurso à Equação (1), assumem a forma apresentada na Equação (3).

$$\left[E[Re_n] - P_{\frac{1-\beta}{2}} \times \frac{E[Re_n - E[Re_n]]}{\sqrt{n}} ; E[Re_n] + P_{\frac{1-\beta}{2}} \times \frac{E[Re_n - E[Re_n]]}{\sqrt{n}} \right] \quad (2)$$

$$[Y_{INF} ; Y_{SUP}] = \left[X_{n,q}U_q - P_{\frac{1-\beta}{2}} \times \frac{E[Re_n - E[Re_n]]}{\sqrt{n}} ; X_{n,q}U_q + P_{\frac{1-\beta}{2}} \times \frac{E[Re_n - E[Re_n]]}{\sqrt{n}} \right] \quad (3)$$

Na Eq.(3) os valores de Y_n constituem os valores das respostas, adquiridas durante um período temporal, que se pretende testar, para avaliar a segurança, e $X_{n,q}$ são os valores das ações adquiridas durante o mesmo período. $P_{1-\beta}$ consiste no percentil associado a um nível de confiança, β , pretendido para os limites de segurança, de acordo com uma distribuição estatística que se considere representativa da variabilidade observada. Para o caso da Ponte Edgar Cardoso utilizou-se a distribuição Normal com um nível de confiança de 99%.

5.1 Extensões

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 15, para a Secção S8, as séries de extensões compensadas dos efeitos da temperatura e da humidade relativa, obtidas através das regressões lineares descritas na secção anterior, e os respetivos intervalos de confiança. Neste gráfico pode observar-se que, de um modo geral, as diversas séries temporais apresentam variações importantes que não são explicadas pelas temperaturas adquiridas *in situ*, que foram usadas como variáveis explicativas nos modelos de regressão.

A análise que se apresenta baseia-se na obtenção de limites de confiança com base nos dados adquiridos durante um período de referência, que no presente relatório se definiu desde 15 de agosto de 2020 até 15 de agosto de 2021 (um ano), seguida da sua posterior comparação com os dados adquiridos durante um período subsequente em análise, que se definiu deste o dia 15 de agosto de 2021 até 24 de junho do mesmo ano. Quando a estrutura se mantém inalterada entre os períodos de referência e de teste, os novos dados em análise (a azul nas figuras seguintes) não excedem os limites de confiança, definidos com base no

período de referência. Quando ocorrem alterações à resposta estrutural é de esperar que os limites sejam claramente excedidos.

A análise das séries de erros das extensões permite constatar que as respostas estruturais observadas durante o período em análise (a azul nos gráficos seguintes) não excedem de forma inequívoca e monótona os limites de confiança definidos durante o período de referência, representados a vermelho nos mesmos gráficos e obtidos dos valores representados a cor verde. Este facto permite assim concluir sobre a inexistência de alterações estruturais importantes ou irreversíveis entre 15 de agosto e 24 de junho de 2022.

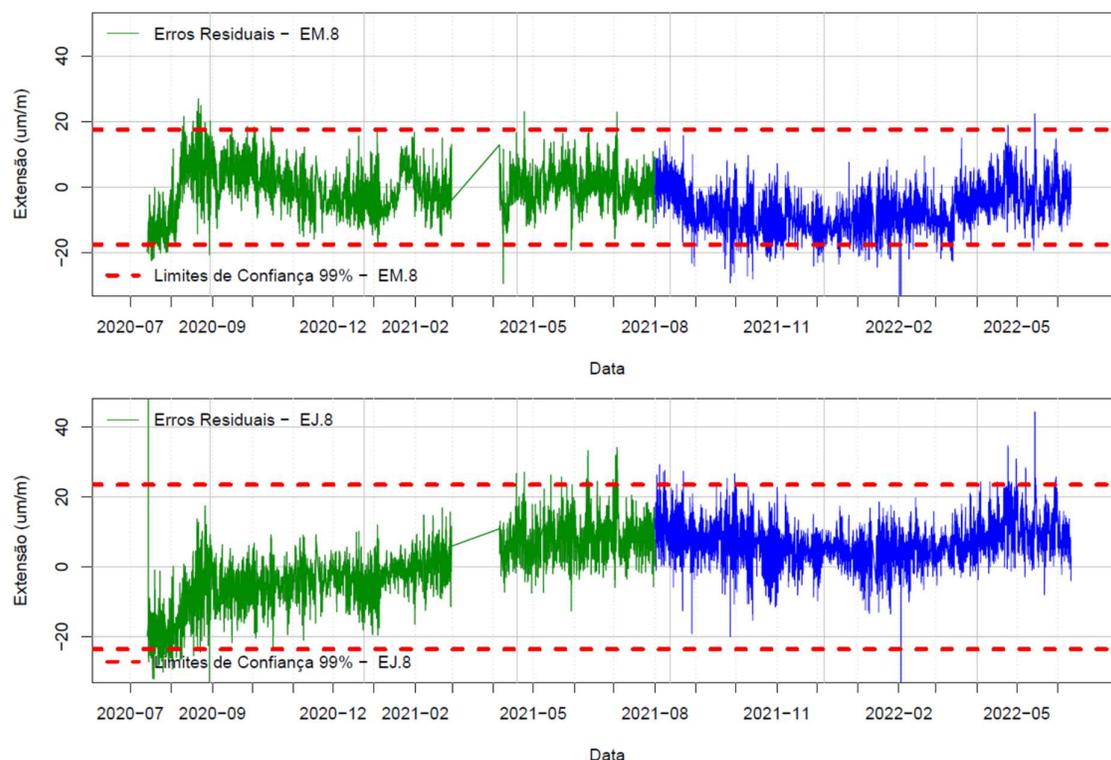


Figura 15. Erros residuais de extensões medidas nas vigas principais do tabuleiro - Secção S8

5.2 Deslocamentos verticais

A monitorização topográfica assenta na análise de grandezas relativas, tais como, distâncias verticais, ângulos verticais e horizontais, que descrevem a relação entre ações que incidem sobre a obra de arte e a correspondente resposta estrutural. A observação de forma continuada, através de uma estação total Leica TM50i, permite estimar os movimentos 3D do conjunto de pontos-objeto instalados no tabuleiro da ponte. As observações adquiridas foram processadas pelo método de estimação de posições usando equações de observação linearizadas, conhecido como método da “variação de coordenadas”, onde as coordenadas dos pontos são ajustadas até que os seus valores satisfaçam a condição do método dos mínimos quadrados, isto é, que a soma dos quadrados dos resíduos seja mínima. Com enfoque na componente altimétrica, e a título de exemplo para uma parte dos alvos instalados na estrutura, mostra-se na figura 16. a variação dos ajustamentos por meio de quartis usando um *boxplot* (indicando a mediana e os quartis). A linha a preto representa a média. Os

primeiros 5 pontos representam a estação total (STA1) e os 4 pontos de controlo (O1, O2, O3 e O4). O intervalo temporal destes dados compreende o período entre janeiro e maio de 2021.

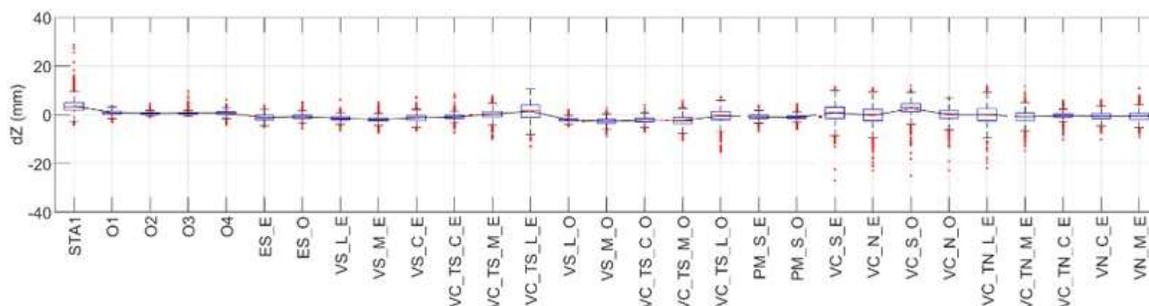


Figura 16. *Boxplot* da componente Z, em milímetros, para um sub-grupo de alvos

Para o mesmo intervalo temporal, e para os 4 alvos localizados no tramo simplesmente apoiado, ilustra-se na imagem 17. a variação dos deslocamentos altimétricos obtidos tendo por referência ciclos de leitura horários.

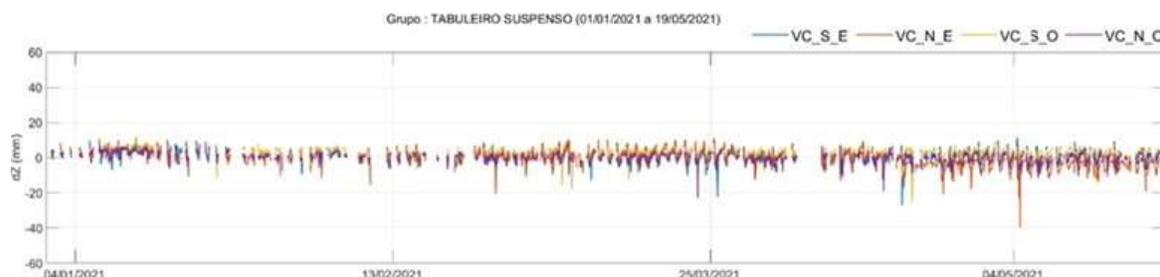


Figura 17. Variação dos deslocamentos altimétricos – tramo simplesmente apoiado

Sobressai uma resposta uniforme desta subestrutura, com amplitudes equivalentes e com uma correlação positiva entre pontos homólogos (lado este – lado oeste).

5.3 Largura das juntas de dilatação

A análise da evolução da largura das juntas de dilatação do tramo simplesmente apoiado, no vão central da Ponte Edgar Cardoso, observada entre julho de 2020 e junho de 2022 encontra-se representada na Figura 18, na qual se podem observar os valores dos erros residuais de regressão, que constituem os valores de deslocamento corrigidos dos efeitos da temperatura e humidade relativa, tal como explicado no Ponto 5, e os respetivos limites de confiança.

Esta análise foi efetuada em moldes idênticos à realizada para as extensões e permite observar que, para além de variações diárias com maior amplitude, em dias com maior temperatura média, a série obtida durante o período em análise não excede os intervalos de confiança definidos com recurso aos dados do período de referência. Os limites de confiança de 99% coincidentes com uma variação máxima, não explicada pelas ações medidas, de 10mm confirmam que a juntas de dilatação do vão central não exibiram variações importantes de abertura durante o mesmo período.

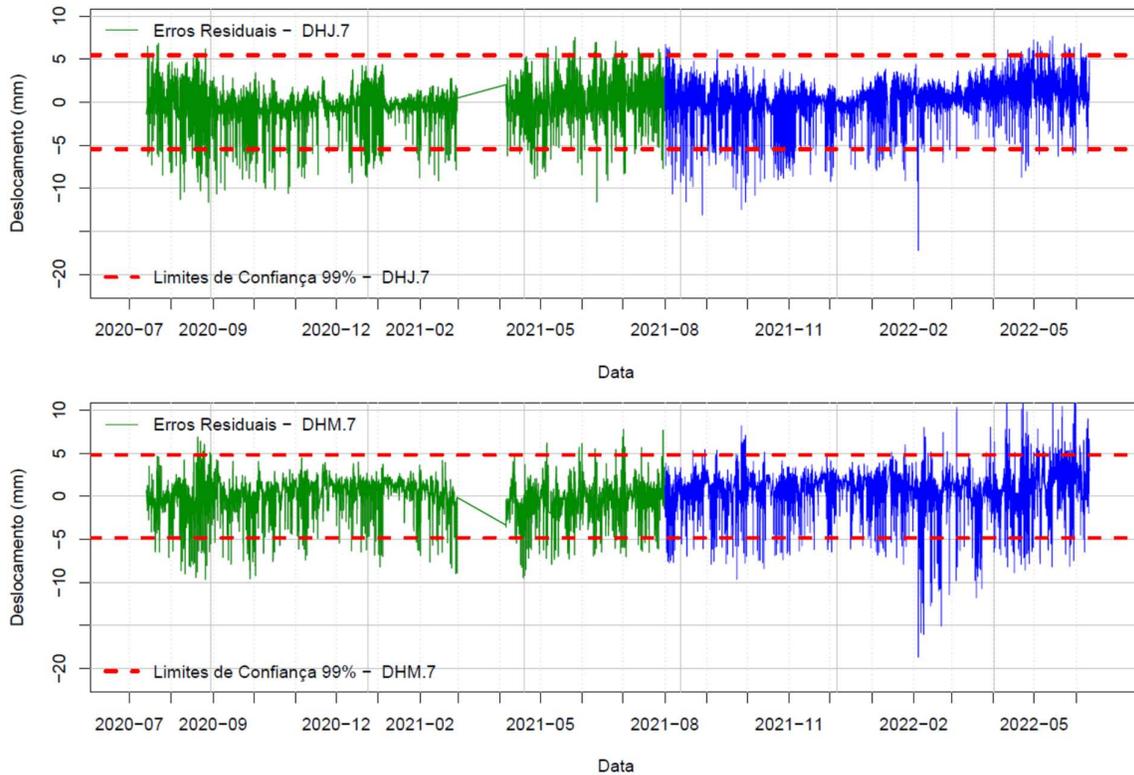


Figura 18. Deslocamentos horizontais do tabuleiro na extremidade do tramo simplesmente apoiado

Para além da análise realizada nos moldes que se acaba de referir, foi efetuada uma análise recorrendo apenas à compensação da variação da temperatura média no betão e da temperatura na viga metálica de montante.

Os resultados para a medição da largura da junta de dilatação, efetuada na extremidade de montante apresentam-se na Figura 19.

Nesta figura encontram-se representadas as variações da largura da junta de dilatação, do tramo simplesmente apoiado, nas suas extremidades de montante e de jusante, e também o valor médio da temperatura na laje de betão do tabuleiro ($T_{B_{med}}$) e o valor da temperatura na viga metálica de montante do tabuleiro (“TVM2.1”).

Os valores medidos com os dois transdutores de deslocamentos, estão representadas azul-escuro. A azul-claro ilustram-se as variações da largura da junta compensadas das variações de temperatura.

A compensação da variação da largura da junta de dilatação foi efetuada recorrendo ao método dos mínimos quadrados, com o qual se obteve a relação entre os valores da largura da junta medidos na sua extremidade de montante e a temperatura medida com um termómetro instalado na viga de montante e ainda com a média dos valores da temperatura medidos na laje de betão.

A relação que se obteve para o lado de montante é a seguinte, sendo o valor do coeficiente de determinação r^2 , para este ajuste, de 0,9582:

$$DHM.7 = 59,7563 - 2,2949 \times TV_{\text{metálica}} - 0,2467 \times TB_{\text{med}}$$

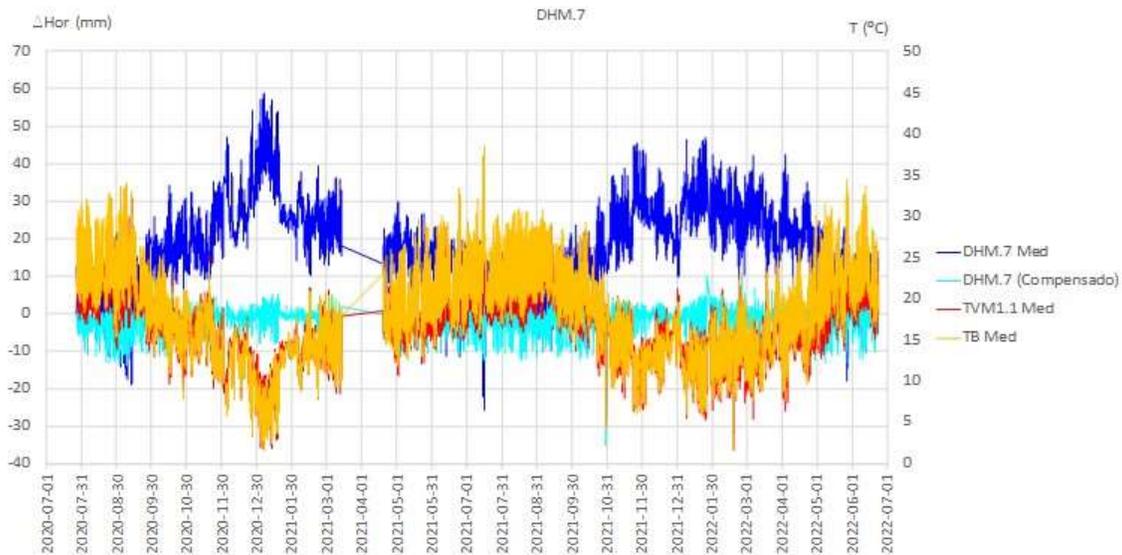


Figura 19. Variação da largura da junta de dilatação do tramo simplesmente apoiado: lado de montante

A compensação da temperatura, na variação da largura da junta de dilatação, do lado de montante, do tramo simplesmente apoiado, fez-se utilizando a expressão seguinte:

$$DHM.7_{\text{comp}}(t) = DHM.7(t) + 2,2949 \times (TVM2.1(t) - TVM2.1(t_0)) + 0,2467 \times (TB_{\text{med}}(t) - TB_{\text{med}}(t_0))$$

onde t representa o instante de tempo no qual se fizeram as várias leituras e t_0 o instante de tempo no qual se fizeram as leituras iniciais.

6. CONCLUSÕES

Com a instalação de um sistema de monitorização estrutural na Ponte Edgar Cardoso, procurou-se dotar esta estrutura de um meio que possibilite a deteção ou a confirmação da existência de anomalias observadas durante as inspeções à estrutura, assim como esclarecer as suas causas, pretendendo-se ainda, tentar evitar a ocorrência de acidentes decorrentes da rotura de elementos estruturais, ou do colapso total ou parcial desta obra.

Os dados até agora obtidos não evidenciam que tenham ocorrido anomalias que possam afetar o funcionamento estrutural da obra e consequentemente comprometer as suas condições de serviço até ao início da empreitada de substituição dos tirantes.

REFERÊNCIAS

- [1] Silveira, P. – *Monitorização Estrutural da Ponte Edgar Cardoso. Resultados obtidos até março de 2022*. Relatório 92/2022 – DE/LNEC, 2022.
- [2] Santos, J.P. – “Smart Structural Health Monitoring Techniques for Novelty Identification in Civil Engineering Structures. PhD Thesis. IST - UL, 2014