

Monitoramento de temperatura em pontes usando termografia: estudo de caso

Temperature monitoring in bridges using thermography: case study

MOREIRA, Amacin Rodrigues¹

CATAI, Rodrigo Eduardo²

MAZER, Wellington³

Resumo

O presente artigo apresenta um estudo de monitoramento de temperatura de pontes utilizando a termografia infravermelha com o objetivo de avaliar as variações térmicas dos elementos estruturais da superestrutura em períodos de temperaturas extremas máximas e mínimas tendo como referência um viaduto localizado em Pinhais, cidade do sul do Brasil. O monitoramento permitiu identificar e quantificar as variações de temperatura ao longo do período, destacando as influências da geometria, da incidência da luz solar e da temperatura do ar local.

Palavras-chave: termografia, monitoramento, pontes, temperatura.

Abstract

This article presents a bridge temperature monitoring study using infrared thermography with the objective of evaluating the thermal variations of the structural elements of the superstructure in periods of extreme maximum and minimum temperatures, having as reference a viaduct located in Pinhais, a city in the south of Brazil. Monitoring made it possible to identify and quantify temperature variations over the period, highlighting the influences of geometry, the incidence of sunlight and local air temperature.

Keywords: thermography, monitoring, bridges, temperature.

1. Introdução

A importância das pontes na infraestrutura de transporte e seus impactos na economia de um país são fatos destacados por OBrien et al. (2020), devendo ser garantidas a segurança dos usuários e o desempenho previsto pelas normas de projetos. Para atender esta situação, torna-se necessário a determinação com a adequada precisão das estimativas das condições funcionais presentes e futuras, considerando todas as incertezas possíveis, inclusive os efeitos provenientes das variações da temperatura, dentre as influências ambientais e climatológicas do local onde está inserida a estrutura.

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Curitiba. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Brasil. amacinrm@utfpr.edu.br

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Curitiba. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Brasil. catai@utfpr.edu.br

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Curitiba. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Brasil. wmazer@utfpr.edu.br

Considerando os aspectos do aquecimento global que tem alterado o clima e por conseguinte a temperatura ambiente, situação descrita no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da Organização das Nações Unidas (ONU) (IPCC, 2021), tem-se como resultado um aumento das amplitudes térmicas que afetam os materiais promovendo alterações em sua geometria através da contração ou expansão. Estas alterações acabam por exigir a revisão dos valores que são empregados na modelagem e simulação do comportamento das estruturas (CROCE *et al.*, 2018; NARS *et al.*, 2021) e, com isso, motivado diversos estudos para revisão de normas de projetos (FORMICHI, 2016).

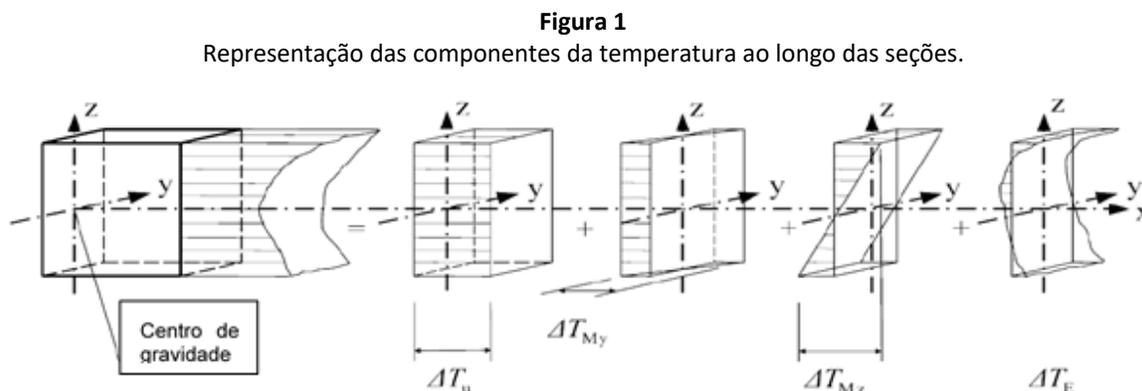
Assim, este trabalho tem como objetivo contribuir com a análise do comportamento das estruturas de pontes por meio da avaliação das variações da temperatura nos elementos componentes da superestrutura de um viaduto situado na cidade de Pinhais, localizada na região do Sul do Brasil, sujeita a grandes amplitudes anuais de temperatura, utilizando para isto o monitoramento desta variável por meio da termografia. A cidade escolhida apresenta características particulares de variação de temperatura por se situar no primeiro planalto Paranaense, com altitude no local da obra de 890 metros e de clima peculiar no outono, em geral no mês de abril, onde são obtidos valores extremos de temperatura, condicionados pela baixa de umidade no período e pela menor cobertura de nuvens, sendo assim destacado o período de maior radiação solar efetiva para as operações de monitoramento.

1.1. Referencial Teórico

De acordo com Lee (2012), os primeiros trabalhos sobre temperatura em pontes foram realizados no período de 1950 a 1960, tendo-se como temas as análises experimentais e a proposta de equações empíricas para a solução do problema. Trabalhos como os de Barber (1957) e Zuk (1965) trataram da estimativa da temperatura superficial do pavimento para prever a temperatura em uma ponte de seção mista (aço e concreto) e descrevem as primeiras propostas para medição dos valores desta variável. Ainda, no trabalho de Zuk (1965), foram destacadas as influências da temperatura do ar, da velocidade do vento, da variação da umidade, da intensidade da radiação solar, bem como, do material utilizado na estrutura.

No período seguinte até o início da década de 70, os estudos tiveram como objetivo determinar os efeitos dos gradientes de temperatura nas seções transversais. Pesquisas como as de Priestley (1972), na Nova Zelândia, seguida de Emerson (1973), no Reino Unido, determinaram as primeiras equações de fluxo de calor e separaram as parcelas das variações uniformes e os gradientes de temperatura (CHEN, 2008).

Baseado nestes conceitos, o Eurocode 1991-1-5 (CEN, 2003) definiu as parcelas correspondentes aos deslocamentos gerados pela variação de temperatura com as componentes representadas esquematicamente na figura 1.



Fonte: CEN (2003)

Dado um elemento de área A , com origem no centro de gravidade da seção, a primeira parcela representa a componente da distribuição uniforme de temperatura que provocará o alongamento (expansão) ou encurtamento (contração) de toda a seção do elemento estrutural.

A segunda e terceira parcelas correspondem a componente linear auto equilibrada de acordo com o eixo de referência z ou y que promovem a rotação da seção, chamada de gradiente de temperatura transversal.

Finalmente a quarta parcela, que corresponde a componente não linear da temperatura não equilibrada, é obtida subtraindo da temperatura total as parcelas anteriores, conforme JCSS (2015), LARSSON e SVENSSON (2013).

Assim, tem-se a temperatura total dada por:

$$\int_A T(z, t) dA = T_N(t) \int_A dA + \Delta T_{Mz}(t) \int_A z dA + \int_A T_E(z, t) dA \quad (1)$$

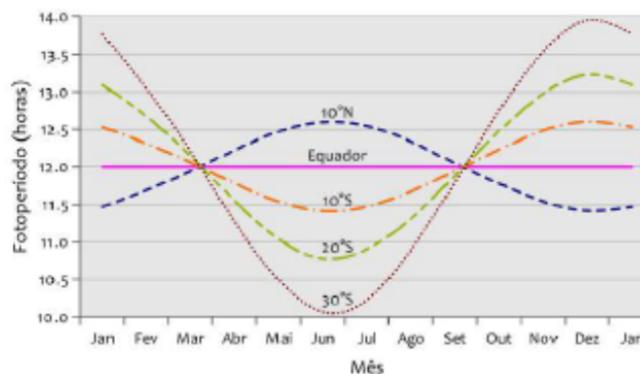
Do ponto de vista teórico a definição das componentes de temperatura está solucionada, porém, do ponto de vista de aplicação, necessitaria da utilização da equação de condução de calor de Fourier no domínio tempo, além da determinação da temperatura inicial do sistema, informações não disponíveis na fase de projeto. Assim, a previsão das temperaturas para projeto está separada em duas partes nas normalizações, a temperatura uniforme e o gradiente de temperatura (MOREIRA, 2022).

A primeira parte, em virtude da correlação obtida, toma-se como referência as temperaturas do ar à sombra que são obtidas, em geral, pelas estações meteorológicas. Já a segunda parte que se refere à temperatura diferencial ao longo da altura ou largura da seção depende principalmente da temperatura do ar e dos efeitos da radiação solar (SOUKHOV, 2000; JCSS, 2015).

O fator mais destacado é a radiação solar correspondente à energia emitida pelo sol. Assim, a exposição das estruturas a ação direta da radiação varia ao longo do ano com a duração do dia, função da localização e da inclinação da terra, conforme descrito no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

A variação da energia ao longo do ano segue a distribuição indicada na figura 2, onde estão apresentadas as variações do fotoperíodo, em horas, em função da latitude dada em graus. Portanto, nas regiões abaixo da linha do equador, quanto maior o afastamento desta linha, maior será a exposição no período dos meses de setembro a março, tendo como magnitude valores entre 12 e 14 horas. No intervalo de março a setembro, o fotoperíodo varia entre 10 e 12 horas. Já para as regiões acima da linha do equador, os períodos mensais geram resultados inversos aos citados, tendo menor exposição no intervalo dos meses de setembro a março.

Figura 2
Variação do fotoperíodo ao longo do ano para diversas latitudes.



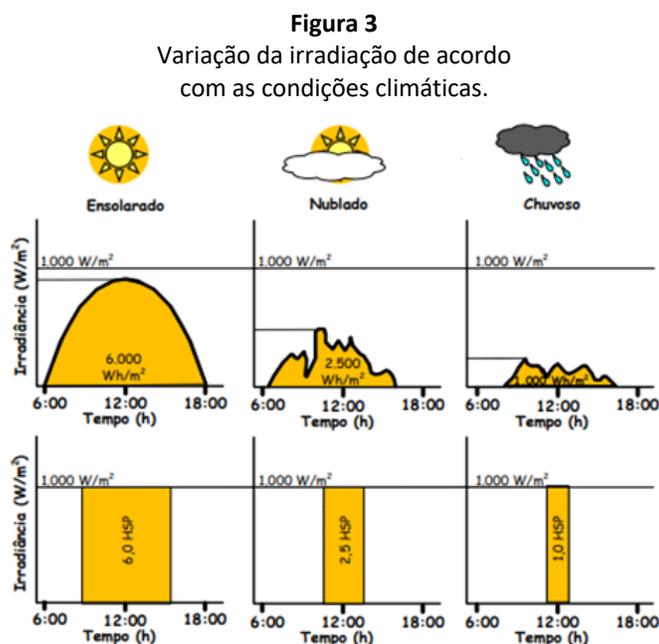
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017)

A região sul do Brasil localiza-se entre a latitude 22°S e 32°S. A localização da obra estudada, corresponde a 25,5° de latitude sul, apresentado as características de fotoperíodo do intervalo entre 20°S e 30°S.

Deve ser observado que a presença de nuvens e outros agentes interferem na intensidade da radiação solar que atinge a superfície, variando com o grau de cobertura de nuvens, bem como, da sua espessura e densidade, fatores de difícil mensuração.

Os valores médios da radiação obtidos nessas condições estão apresentados na figura 3, onde pode ser observado o impacto da presença de nuvens e outras interferências. O valor de HSP, valor da hora de sol pleno, equivale ao intervalo de tempo diário com uma radiação de 1000 W/m².

A comparação entre os valores para o dia chuvoso em relação ao dia ensolarado demonstra que as superfícies recebem o equivalente a apenas 17% de radiação para o primeiro caso.



Fonte: Pinho et al. (2018)

Considerando essa complexidade para a avaliação do comportamento de cada elemento sob a ação da radiação solar, os estudos tem utilizado como referência a variação térmica do ambiente. Porém, para que se tenham valores válidos para aplicação na simulação do comportamento da estrutura de uma ponte, é necessário se determinar os fatores de correlação entre a temperatura ambiente, tomada com referência a sombra, com o valor efetivo na estrutura. Esses valores de correlação estão apresentados em diversas normas, mas apenas para algumas morfologias de estrutura, sendo uma necessidade a validação e sugestão de parâmetros de correlação para a aplicação em diferentes tipos de obra e em situações diferentes de exposição.

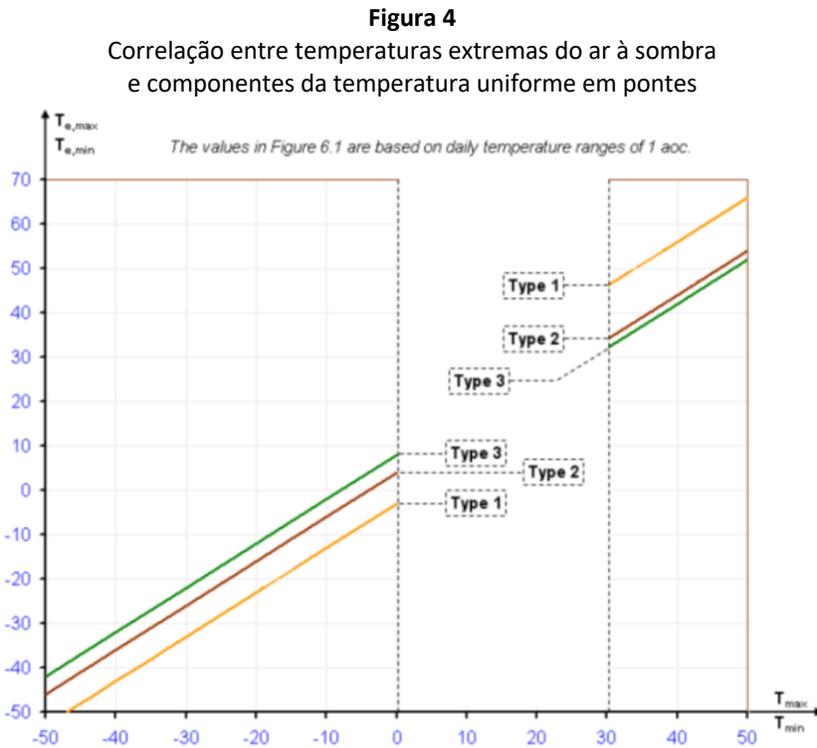
Para exemplificar, o Eurocode 1991-1-5 (CEN, 2009) apresenta como critérios para a correção das temperaturas ao ar ($T_{máx}$; $T_{mín}$) para temperatura efetiva na estrutura ($T_{e,máx}$; $T_{e,mín}$) as seguintes correlações:

$$\begin{cases} T_{e,max} = T_{max} + 16^{\circ}\text{C} \\ T_{e,max} = T_{max} + 4^{\circ}\text{C} \\ T_{e,max} = T_{max} + 2^{\circ}\text{C} \end{cases} \text{ para } 30^{\circ}\text{C} \leq T_{max} \leq 50^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

$$\begin{cases} T_{e,min} = T_{min} - 3^{\circ}\text{C} \\ T_{e,min} = T_{min} + 4^{\circ}\text{C} \\ T_{e,min} = T_{min} + 8^{\circ}\text{C} \end{cases} \text{ para } -50^{\circ}\text{C} \leq T_{max} \leq 0^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

As três equações de cada caso se referem aos três tipos de estruturas citados na figura 4, quais sejam:

- Tipo 1: Pontes metálicas.
- Tipo 2: Pontes mistas concreto e metálica.
- Tipo 3: Pontes em concreto.



Fonte: CEN (2003)

Na figura 4, destaca-se a ausência de valores no intervalo de 0 a 30°C, tendo em vista que os valores de temperaturas extremas mínimas e máximas do ar para a região do Eurocode, em geral, se apresenta fora desse intervalo.

Assim, considerando as diferentes morfologias das estruturas empregadas no Brasil e os modelos de correlação que não atendem os intervalos de temperatura recorrentes neste país, verifica-se a necessidade de se produzir estudos locais para a definição dos parâmetros de projetos.

Neste contexto, a termografia infravermelha pode contribuir com o processo de análise dos parâmetros, pois permite a obtenção de resultados rápidos e com custos bem inferiores aos sistemas de monitoramento eletrônicos.

Bauer (2013) define a técnica da termografia como a forma de quantificação da temperatura por meio da medição da radiação eletromagnética emitida naturalmente por um corpo a uma temperatura acima de zero, sendo assim não destrutiva e não invasiva. A câmera termográfica infravermelha é o aparelho capaz de efetuar

a aquisição da intensidade de radiação, processar e tratar as informações coletadas, gerando as imagens que descrevem a temperatura do elemento e suas variações (FLIR, 2012).

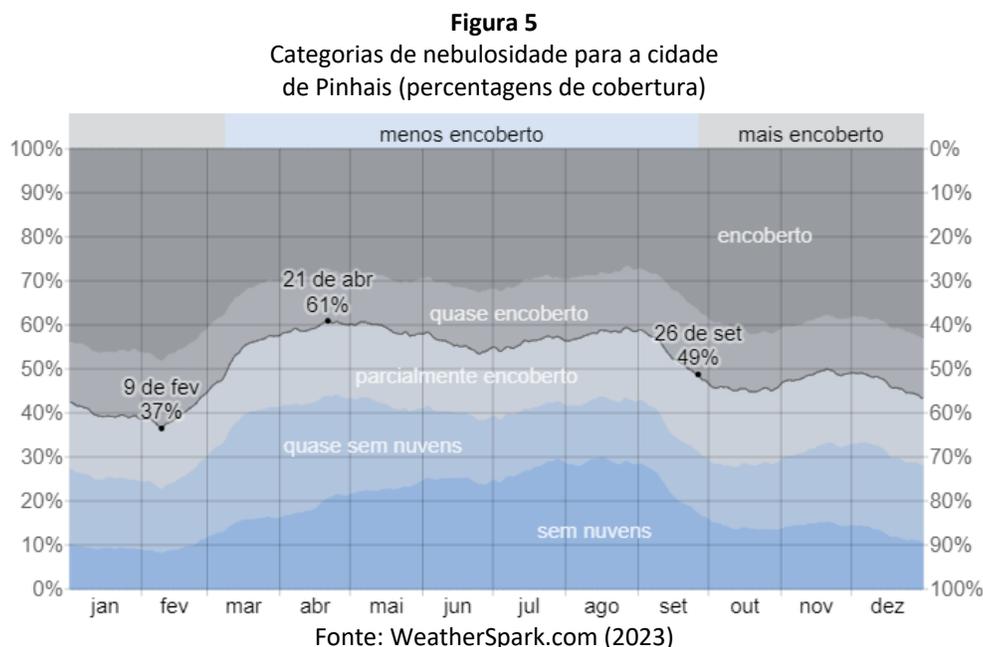
2. Metodologia

Considerando os critérios descritos de avaliação das variações de temperatura entre os elementos componentes da superestrutura de pontes, buscou-se uma obra localizada em uma região com grande amplitude térmica e considerando os fotoperíodos ao longo do ano, assim como, estivesse afastada de outras estruturas e influências de vegetação e que permitisse fácil acesso. Dentre as obras inspecionadas ao longo dos diversos estudos realizados com termografia em pontes, selecionou-se um viaduto de acesso à rodovia PR415, localizado na cidade de Pinhais, região Sul do Brasil. Destaca-se que a obra selecionada, em função das características locais, enfrenta amplitudes térmicas em prazos de tempo relativamente curtos, em média de dois meses e meio, aproximadamente, permitindo um monitoramento de menor extensão temporal.

O clima local é classificado como subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com temperatura anual média de 18°C. Esse clima se caracteriza pela influência da zona temperada, bem como, da zona tropical, afetando o sistema meteorológico local, com elevada variabilidade das temperaturas no outono e no inverno. O local é afetado pela passagem de massas de ar polar intercaladas com avanços de ar seco do interior do Brasil, provocando grandes amplitudes térmicas e dias quentes nestas estações do ano (IBGE, 2023).

A presença de precipitações frequentes, a grande cobertura de nuvens e os ventos intensos, além da altitude, tornam o verão no local com temperaturas moderadas, com valores máximos raramente superiores a 30°C, tendo-se valores de temperatura variando entre 18°C e 27°C, em média, segundo o INMET (2021), e valores máximos comparáveis aos do período de outono.

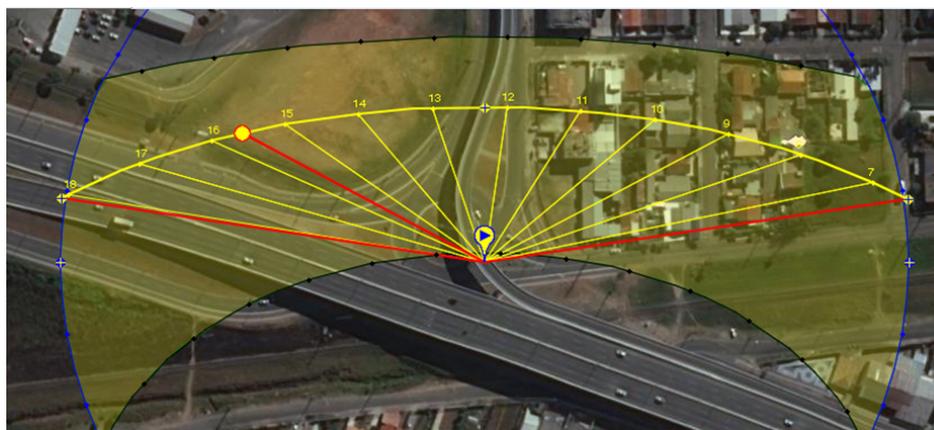
Na figura 5 estão apresentadas as variações médias de cobertura de nuvens, em porcentagem, que interferem no valor da hora de sol pleno de acordo com o fotoperíodo, conforme as condições indicadas na figura 3, onde destaca-se o mês de abril com os menores índices de cobertura, indicando assim o período onde a radiação solar apresenta maior potencial de alteração de temperatura do ar e das superfícies das estruturas para a cidade de Pinhais, justificando as temperaturas obtidas nas estações do ano citadas anteriormente.



Para esse monitoramento, foram registrados os valores de medição de temperatura ao longo do dia completo e entre as partes da estrutura. Manteve-se as medições por períodos sazonais de dois dias, observando-se dias de valores elevados de temperatura do ar e de valores considerados baixos para a região onde a estrutura se insere.

Para a compreensão da situação desta estrutura em relação a exposição solar, na figura 6 está apresentada a localização da obra, tendo a posição norte localizada na direção vertical e em sentido superior da imagem, bem como, a descrição do caminho do sol para o dia exemplificado e as faixas de transição do sol ao longo do ano, descrito com a sombra amarela.

Figura 6
Localização e situação do
viaduto de acesso a PR415.



Fonte: Sunearthtools (2021)

A descri o do caminho do sol pode ser obtida por softwares de análise de eficiência energética e arquitetura ou por aplicativos de acesso livre na internet, como o Sunearthtools, o qual foi utilizado para produ o desta imagem.

O viaduto selecionado possui três longarinas pré-moldadas e lajes maciças produzidas com sistema de pré-lajes apoiadas sobre as longarinas. A sele o considerou a orienta o da estrutura principal com faces laterais orientadas para leste e oeste, o que possibilitou o acompanhamento de varia es de temperatura por efeito do sol atuando diretamente sobre as duas faces. Nas figuras 7 e 8 pode ser verificada a morfologia descrita da estrutura.

Figura 7
Vista lateral do viaduto de
acesso   rodovia PR451.



Fonte: Autoria própria (2021)

Na figura 8 podem ser observadas as posições das longarinas do terceiro vão, a região de apoio e a transversina central desse vão. As medições foram realizadas na região ao lado desta transversina para os diversos elementos que compõem a seção transversal, fixando-se os pontos de coleta das imagens térmicas, a distância e a emissividade.

As medições foram realizadas sempre na parte central das longarinas laterais, a leste e a oeste, e no fundo da laje na posição central do segundo vão. Também foi registrada a temperatura do ar à sombra fornecida pelos registros do Instituto Nacional de Meteorologia brasileiro para cada horário.

Figura 8

Vista inferior da estrutura do viaduto de acesso à rodovia PR451.



Fonte: Autoria própria (2021)

Os valores de temperatura das estruturas foram obtidos com a utilização de uma câmera termográfica compacta da marca Flir, modelo C2, com sensibilidade inferior a $0,10^{\circ}\text{C}$, precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ e correção de emissividade. Os registros foram tomados de 4 em 4 horas, aproximadamente. No quadro 1 estão apresentados os resultados de duas leituras realizadas na laje em dias com temperaturas extremas opostas, tendo-se atingido $30,4^{\circ}\text{C}$ no dia quente e $-1,2^{\circ}\text{C}$ em um dia de extremo frio.

Quadro 1

Leituras de temperaturas extremas na parte inferior da laje da pista

Obra	Imagem da obra	Imagem térmica	Temperatura do ar $^{\circ}\text{C}$	Temperatura do elemento $^{\circ}\text{C}$	Data
Viaduto de acesso à PR415			27,9	30,4 (24,6)	10/04/2021
Viaduto de acesso à PR415			-0,8	-1,2 (2,1)	30/06/2021

Fonte: Autoria própria (2021)

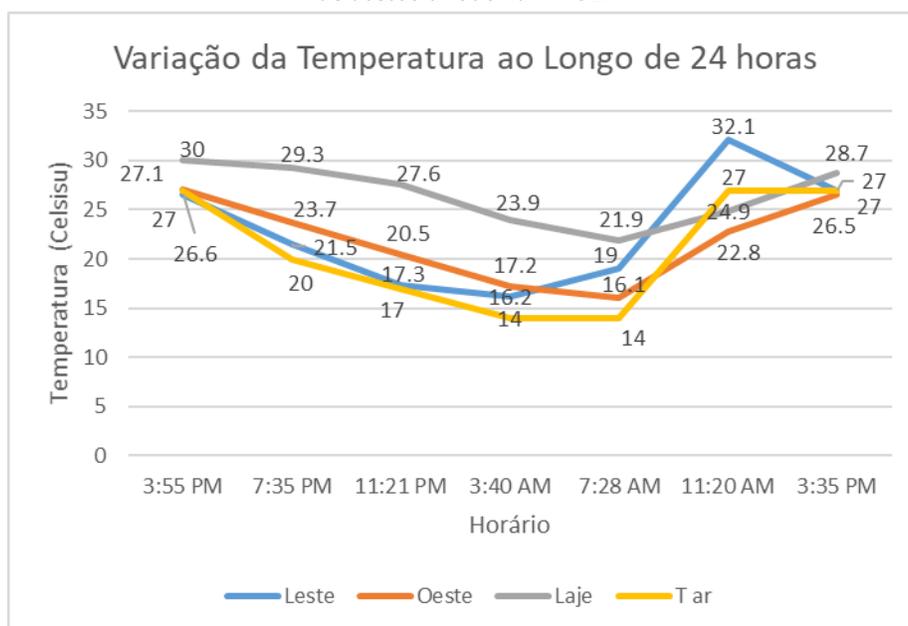
Observando as orientações de Washer, Fenwick e Bolleni (2010), bem como, Takeda e Mazer (2018), foram analisados previamente os valores da emissividade do concreto entre 0,90 e 1,00, tendo-se utilizado como padrão o valor de 0,95. Além disso, foram consideradas as distâncias das superfícies, como parâmetro para a configuração da câmera.

3. Resultados

Os resultados obtidos pelo monitoramento foram analisados e destacados os correspondentes as datas onde foram obtidos os valores limites de temperatura do ar de acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021).

Na figura 9 estão apresentados os resultados do monitoramento do dia 09/04/2021, a partir das 15h55, até o dia 10/04/2021, às 15h35, com os valores das temperaturas nas longarinas das faces leste e oeste, do fundo laje da pista e da temperatura do ar sombra.

Figura 9
Variação de temperatura do viaduto
de acesso à rodovia PR451.



Fonte: Autoria própria (2021)

Comparando-se a temperatura do ar com as temperaturas dos elementos estruturais, pode ser observado que a temperatura da estrutura apresenta a tendência de seguir as variações presentes no ar, destacando-se a maior proximidade entre os valores para a longarina situada na face leste e, em especial, entre a tarde e a noite.

Para a longarina da face oeste, os valores se apresentaram superiores, sendo a hipótese provável desta situação o acúmulo de energia pelo período de exposição direta a radiação solar, combinado com a inércia térmica do sistema.

No período da manhã o processo inverte-se, com a exposição direta do lado leste da obra, tendo-se valores superiores na longarina presente nesta face.

A laje por apresentar uma superfície horizontal superior exposta a radiação solar na maior parte do dia, além da presença de revestimento em concreto betuminoso, onde a cor e a composição apresentam uma absorção

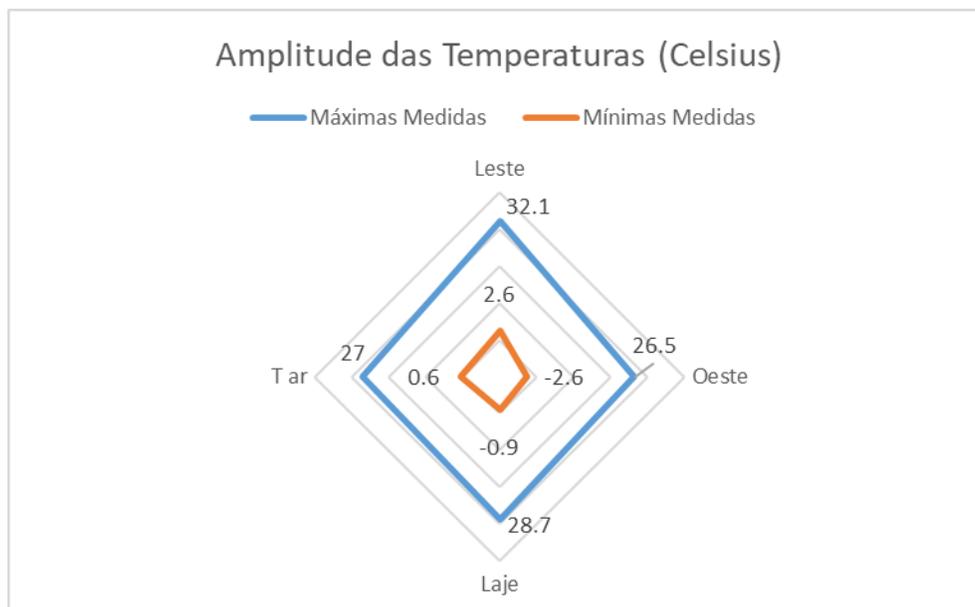
superior de energia, permitiu um fluxo de calor maior na seção de concreto. As trocas de calor, inclusive pela espessura de apenas 20cm, apresentou menores variações de temperatura ao longo das vinte e quatro horas.

Dos valores registrados, também se confirmam as orientações dadas por Roeder (2002) em relação à complexidade de obtenção de valores representativos para separação das temperaturas uniformes, para os quais seriam necessários os monitoramentos dos deslocamentos de expansão e contração linear.

Tomando-se apenas os dias de máxima e mínima temperatura do ar à sombra, foi possível traçar um diagrama comparativo para as longarinas e para a laje de modo a identificar a amplitude das temperaturas em cada um destes elementos, conforme figura 10.

Pode ser observado que as temperaturas da face leste são superiores aos demais elementos, seja para a consideração da temperatura máxima, seja na avaliação da temperatura mínima. Para a amplitude de temperatura do ar à sombra de 26,4°C, nos elementos da estrutura os mesmos variaram entre 29,1°C a 29,6°C, ou seja, aproximadamente 3°C superiores para os pontos considerados na medição.

Figura 10
Temperaturas máximas e mínimas no período de monitoramento do viaduto da PR451



Fonte: Autoria própria (2021).

As variações observadas não estão atendidas pelos critérios que estão apresentados no Eurocode 1991-1-5 (CEN, 2009) e que foram descritos no item 2.2. Assim, é necessário prever uma adequação ao critério para a determinação da temperatura efetiva que considere a inércia térmica e os valores das temperaturas do ar à sombra extremas de cada local.

Para a comparação dos valores, partiu-se da recomendação do Eurocode 1991-1-5 (CEN, 2009), porém, como a temperatura inferior na maior parte do Brasil está acima de zero graus Celsius, sugere-se interpolar os valores para o intervalo entre 0°C e 30°C para as estruturas de pontes em concreto armado, podendo-se atribuir a definição da temperatura efetiva a partir do seguinte critério:

$$\begin{cases} T_e = 0,8.T + 8 \text{ } ^\circ\text{C} & \text{para } -5^\circ\text{C} \leq T < 30^\circ\text{C} \\ T_e = T + 2^\circ\text{C} & \text{para } 30^\circ\text{C} \leq T < 50^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

Assim, para a temperatura do ar de 27°C destacada na figura 9, a temperatura efetiva uniforme da estrutura recomendada para a análise da estrutura será 29,6°C. Se for tomada a média das temperaturas medidas na estrutura, chega-se a 29,1°C, exemplificando a proximidade dos resultados.

Já para o caso da menor temperatura, isto é -0,6°C, a temperatura efetiva uniforme da estrutura, de acordo com a equação (2), será de 7,5°C, tendo como média das temperaturas registradas o valor de -0,3°C, ou seja, valor com diferença de 7,8°C.

A razão de tais diferenças podem ser justificadas pela necessidade da correção dos valores de temperatura uniforme para o interior das peças, onde o fluxo de calor necessita de um prazo maior para atingir o equilíbrio e uniformizar as temperaturas, observando-se que ao longo deste período a temperatura ambiente se modifica, assim como a radiação solar.

Em relação as temperaturas diferenciais, as normas atuais são simplistas, apresentando valores de variação da face superior para a inferior. Porém quando se analisam os resultados das medições nas imagens do quadro 1, percebe-se grande variação ao longo das superfícies horizontais, sendo recomendado que a distribuição da temperatura sobre os elementos da estrutura observe essa condição.

Por fim, destaca-se que em caso do monitoramento para períodos diferentes, como no caso do verão, considerando as características particulares do clima da região, da variação da radiação solar sobre a obra em virtude da cobertura de nuvens, além da presença de chuvas diárias, entre outros fatores que afetam a temperatura ambiente, os valores diferenciais de temperatura diários seriam inferiores. Ainda, nestas condições, para o período de monitoramento anual completo os resultados das temperaturas diferenciais apresentariam a mesma ordem de grandeza.

4. Conclusões

Esta pesquisa apresentou o potencial da utilização das câmeras termográficas para o monitoramento das temperaturas em pontes, bem como, no sentido de auxiliar o desenvolvimento de novos modelos para a simulação do comportamento destas estruturas na fase de elaboração dos projetos executivos.

O monitoramento de longo período permitiu observar os efeitos da inércia térmica dos elementos que afetam a distribuição das temperaturas entre as partes, sendo possível avaliar a necessidade de uma proposta de distribuição das ações da temperatura considerando as superfícies das peças.

A partir do estudo de caso e dos resultados obtidos entende-se a necessidade de efetuar estudos sobre a distribuição do calor e das temperaturas nos elementos para pontes de outras morfologias e composições estruturais, além de se avaliar obras em locais e com orientações diversas para entender as influências, tanto da radiação solar, quanto da radiação refletiva e difusa, além da própria irradiação das superfícies da estrutura. Destaca-se que o estudo prévio do clima local e das condições de nebulosidade são fatores relevantes para a identificação dos prazos de monitoramento em observância aos objetivos que a proposta de estudo apresentar, o que poderá exigir prazos maiores ou menores de coleta das informações para o alcance dos resultados, o que afetará a previsão de recursos necessários e o planejamento das atividades.

Em relação ao monitoramento propriamente dito, observou-se que a metodologia proposta apresentou os resultados esperados, porém, para uma avaliação mais abrangente do comportamento das estruturas de pontes, devem ser previstos vários pontos de referência para a medição das temperaturas para que se possa reproduzir em uma simulação numérica resultados coerentes com a realidade.

Do ponto de vista do valor de temperatura uniforme para o emprego em projetos, concluiu-se que o modelo proposto pelo Eurocode 1991-1-5 não contempla os intervalos de temperatura do ar das regiões brasileiras,

sendo necessária a aplicação de uma interpolação. Com a interpolação, os limites superiores apresentaram mesma ordem de grandeza das medições efetuadas, por outro lado, os limites inferiores apresentaram variações significativas, sendo necessário avaliar a transição das temperaturas especialmente nos elementos de maior espessura.

Esse estudo compreende uma etapa de um processo em andamento que visa apresentar sugestões para a revisão da norma brasileira de projetos de estruturas de concreto no que se refere a consideração das temperaturas de projeto para pontes e demais estruturas.

Referências bibliográficas

- Atlas Brasileiro de Energia Solar. (2017). 2ª Ed. São José dos Campos: INPE.
- Barber E. S. (1957). Calculation of maximum pavement temperature from weather reports. Highway Research. Washington, D.C., v.168.
- Bauer E. (2013). Condicionantes das medições termográficas para avaliação de temperatura em fachadas. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza:CE (Brasil).
- Comité Européen De Normalisation (CEN). (2003). Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions. Brussels.
- Comité Européen de Normalisation (CEN). (2009). Eurocode SS-EN 1991-1-5. Swedish Standards Institute. Stockholm.
- Corte A. P. D., Silva C. A., Sanquetta C. R., Rex F. E., Pfutz I. F. P., Macedo R. C. (2020). Explorando o QGIS 3.X [livro eletrônico]. Ed. Dos Autores. Curitiba. Recuperado de: <https://www.ufpr.br/portalufpr/noticias/pesquisadores-lancam-livro-gratuito-sobre-software-de-sistema-de-informacao-geografica/>
- Croce P. (2018). The snow load in Europe and the climate change. Journal Climate Risk Management. Ed. MDPI. Basel, n. 20.
- Chen Q. (2008). Effects of Thermal Loads on Texas Steel Bridges. Thesis. The University of Texas at Austin. Austin.
- Emerson M. (1973). The calculation of the distribution of temperature in bridges. TRRL Rep. No. LR 561. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- FLIR. (2012). The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals. FLIR-Forward Looking Infrared.
- Formichi P. (2016). General Principles of Elaboration of maps for climatic and seismic actions. In: JRC Science for Policy Report. Luxembourg.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). Informações Ambientais. Recuperado de: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2021). Gráficos Climatológicos. Serviço de Processamento Numérico do Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, DF, INMET. Recuperado de: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos>.
- Intergovernmental Panel On Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MASSON-DELMOTTE, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y.

Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)). Cambridge University Press. Cambridge. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1>.

- Joint Committee Of Structural Safety (JCSS). (2015). Probabilistic Model Code. Part 2: Load Models – Thermal Actions. Swiss: JCSS.
- Larsson C., Svensson G. (2013). Realistic modeling of thermal effects in concrete bridges. Lund: Lund University.
- Lee J. (2012). Investigation of extreme environmental conditions and design thermal gradients during construction for prestressed concrete bridge girders. Journal of Bridge Engineering. Reston: American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Moreira A. R. (2022). Desenvolvimento de mapas de temperatura para a aplicação em projetos de obras de arte especiais como contribuição a revisão da NBR6118. Teste de doutorado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. Brasil.
- Nars A., Björnsson, Honfi D., Ivanov O. L., Johannsson J., Kjellström. (2021). A review of the potential impacts of climate change on safety and performance of bridges. Sustainable and Resilient Infrastructure.
- O'Brien E. J., Heitner B., Znidaric A., Schoefs F., Causse G., Yalams T. (2020). Validation of bridge health monitoring system using temperature as a proxy for damage. Chichester: Struct Control Health Monitoring.
- Priestley M. J. N. (1972). Temperature gradients in bridges – some design consideration. New Zealand Engineering, Wellington, v. 27.
- Roeder C. W. (2002). Thermal movement design procedure for steel and concrete bridges. Washington, D. C.: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).
- Soukhov, D. (2000). Representative values of thermal actions for concrete bridges. Prog. Struct. Engng Mater (2). Chichester: John Wiley & Sons.
- Takeda O. T.; Mazer W. (2018). Potencial de análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas. Revista Alconpat Internacional, Mérida, v. 8, n. 1.
- WeatherSpark.com. (2023). Relatório do clima de Pinhais. Cedar Lake Ventures, Inc. Minneapolis. Recuperado de: <https://pt.weatherspark.com/y/29916/Clima-característico-em-Pinhais-Brasil-durante-o-ano>
- Washer G., Fenwick R., Bolleni N. (2010). Effects of Solar Loading on Infrared Imaging of Subsurface Features in Concrete. Journal of Bridge Engineering. Reston: American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Zuk W. (1965). Thermal behavior of composite bridges – Insulated and uninsulated. Committee on Bridges. Virginia: University of Virginia, 1965.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional