

Análise do melhor horário para a detecção de danos em pavimentos flexíveis usando termografia infravermelha

M. Pacara-Copa^{1*} , J. H. A. Rocha² , J. S. Ledezma-Pérez¹ 

* Autor de Contato: marinapacara@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.468>

Recepção: 15/05/2020 | Aceitação: 11/08/2020 | Publicação: 01/09/2020

RESUMO

En este trabajo se discute el rango horario para optimizar e interpretar los resultados de la termografía infrarroja cuando es utilizada en la detección de daños de pavimentos flexibles. Se realizó un seguimiento de 14 horas continuas (5:00 a.m. a 7:00 p.m.) para cuatro zonas de estudio en una avenida céntrica de la ciudad de Cochabamba, Bolivia. El seguimiento evidenció un rango horario óptimo para la toma de imágenes termográficas de 11:00 a.m. hasta las 4:00 p.m.; también se constató la visualización del deterioro mediante la colorimetría diferenciada en los termogramas a diferentes horas. Este ensayo permite localizar las áreas en las que se puede efectuar una inspección detallada. Como limitante se tiene su sensibilidad a cambios en las condiciones ambientales.

Palavras-chave: termografia infravermelha; pavimento flexível; inspeção.

Citar como: Pacara-Copa, M., Rocha, J. H. A., Ledezma-Pérez, J. S. (2020), “Análise do melhor horário para a detecção de danos em pavimentos flexíveis usando termografia infravermelha”, Revista ALCONPAT, 10 (3), pp. 350 – 363, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.468>

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

² Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Tecnología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho o autor M. Pacara-Copa contribuiu com a ideia original, trabalho de campo e acompanhamento, coleta de dados, escolha e desenvolvimento da metodologia de trabalho, redação do trabalho e discussão dos resultados; O autor JHA Rocha contribuiu com a escolha e desenvolvimento da metodologia de trabalho, coleta de dados, discussão dos resultados e revisão da redação do trabalho, e o autor JS Ledezma P. contribuiu com a discussão dos resultados e revisão da redação do trabalho..

Licença Creative Commons

Copyright (2020) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2021, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2021.

Time variability analysis for damage detection in flexible pavement using infrared thermography

ABSTRACT

This document discusses the time range to optimize and understand infrared thermography results when used on damage detection for flexible pavement. A monitoring activity was performed during 14 continuous hours (5:00 a.m. to 7:00 p.m.) for four study areas in a centrally located avenue in Cochabamba City, Bolivia. This activity evidenced an effective time range to take thermographic images from 11:00 a.m. to 4:00 p.m. Damage visualization by differential colorimetry in thermograms at different times was also verified. This test enables locating areas where a detailed inspection may be performed. As a limitation, its sensibility to changes under environmental conditions is evident.

Keywords: infrared thermography; flexible pavement; inspection.

Análisis de la variabilidad horaria para la detección de daños en pavimentos flexibles usando termografía infrarroja

RESUMEN

En este trabajo se discute el rango horario para optimizar e interpretar los resultados de la termografía infrarroja cuando es utilizada en la detección de daños de pavimentos flexibles. Se realizó un seguimiento de 14 horas continuas (5:00 a.m. a 7:00 p.m.) para cuatro zonas de estudio en una avenida céntrica de la ciudad de Cochabamba, Bolivia. El seguimiento evidenció un rango horario óptimo para la toma de imágenes termográficas de 11:00 a.m. hasta las 4:00 p.m.; también se constató la visualización del deterioro mediante la colorimetría diferenciada en los termogramas a diferentes horas. Este ensayo permite localizar las áreas en las que se puede efectuar una inspección detallada. Como limitante se tiene su sensibilidad a cambios en las condiciones ambientales.

Palabras clave: termografía infrarroja; pavimento flexible; inspección.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos para o uso exclusivo do título da revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

As obras de infraestrutura viária são importantes para o desenvolvimento socioeconômico de um país, pois permitem a mobilidade de pessoas e bens (Vyas et al., 2019). No entanto, essas obras sofrem danos (fissuras, deformações, desagregação, etc.), portanto, as atividades de fiscalização, manutenção e reabilitação são necessárias para garantir sua vida útil e proporcionar ótimas condições de serviço (Solla et al., 2014).

Na Bolívia, a história da manutenção e conservação de estradas começou com a criação do Serviço Cooperativo de Estradas Boliviano-Americano (SCBAC), fundado em 1955 (Lovera, 2017). Posteriormente, em 1961, foi criado o Serviço Nacional de Rodovias (SNC), entidade responsável pela administração e manutenção de estradas. Em 2006, a Administração Rodoviária Boliviana (ABC) foi instituída pela Lei 3507 (Bolívia, 2006a), cuja missão institucional é a integração nacional por meio do planejamento e gestão da Rede Rodoviária Fundamental (RFV) (Bolívia, 2006b). As atividades do ABC incluem: planejamento, administração, estudos e projetos, construção, manutenção, conservação e operação do RVF e seus acessos (ABC, 2011).

Apesar da existência de normas e instituições responsáveis pela conservação, na Bolívia uma grande porcentagem das estradas apresenta problemas visíveis, principalmente no pavimento flexível (Los tiempo, 2016, 2019; Parecer, 2018). A atenção oportuna para a manutenção e / ou reabilitação das estradas ultrapassa a capacidade dos órgãos responsáveis, como o ABC. Esta situação ocorre devido à falta de técnicas de fiscalização. Muitas estradas principais, especialmente nas cidades, não são inspecionadas adequadamente devido à redução do tráfego. Este último ponto impede uma correta avaliação e diagnóstico do estado atual do pavimento flexível, de forma que as ações tomadas para sua reabilitação são, em muitos casos, errôneas ou improvisadas.

Existem alguns métodos relatados na literatura para a inspeção de infraestrutura em pontes e estradas de pavimentação rígida e flexível (Rehman et al., 2016; Janků et al., 2019; Dong et al., 2016). Sendo o georadar o método mais utilizado (Khamzin et al., 2017; Fernandes e Pais, 2017; Tosti et al., 2018); entretanto, é necessário o contato direto com a infraestrutura e a interrupção do tráfego de veículos. Por isso, é necessário utilizar técnicas que permitam uma fiscalização que não interrompa o tráfego e seja eficiente à distância. Nesse sentido, a termografia infravermelha surge como uma alternativa para esse fim. Esta técnica não requer contato direto com o objeto inspecionado e pode ser realizada em diferentes distâncias (Baggathiappan et al., 2013; Rocha et al., 2017).

Embora existam estudos de inspeção de pavimentos com termografia infravermelha (Garrido et al., 2018; Golrokh e Lu, 2019), a literatura relacionada a pavimentos flexíveis é escassa (Solla et al., 2014; Lin et al., 2018; Vyas et al., 2019). Portanto, ainda é necessário avaliar suas capacidades e limitações como método de inspeção de pavimentos flexíveis, principalmente em campo, visto que as informações reportadas são experimentais e têm sido aplicadas em diferentes locais.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo discutir o intervalo de tempo para otimizar e interpretar os resultados da termografia infravermelha quando é utilizada para detectar danos em pavimentos flexíveis, considerando como estudo de caso dois trechos da Avenida San Martin de la cidade de Cochabamba - Bolívia. O setor selecionado é caracterizado por alto tráfego e congestionamento de veículos, além de apresentar um pavimento flexível deteriorado (Los Tiempos, 2016).

2. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A radiação térmica é o tipo de radiação eletromagnética responsável pela transferência de calor e é emitida como consequência das transições de energia de moléculas, átomos e elétrons. A intensidade da radiação infravermelha emitida por um corpo vai depender da temperatura em que a superfície se encontra, desta forma, considera-se que todo corpo cuja temperatura está acima do zero absoluto (0 K) emite radiação infravermelha (Rocha et. al., 2017).

A energia térmica irradiada por um objeto será expressa em função da energia emitida por um radiador perfeito denominado corpo negro ou ideal (Cengel, 2003).

O olho humano pode ver a radiação no espectro eletromagnético entre 0,4 - 0,7 μm (espectro visível), a banda infravermelha varia de 0,9 - 14 μm , necessitando de equipamentos para sua detecção. Câmeras de imagem térmica destinadas a inspeção trabalham na faixa infravermelha. A relação entre radiação eletromagnética e temperatura é explicada através da lei de Stephan - Boltzmann, equação (1) (Baggathiappan et al., 2013).

$$W = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (1)$$

Onde, W é a intensidade da radiação (w / m^2), σ é a constante de Stephan - Boltzmann ($5,67 * 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 * \text{K}^4$), ε é a emissividade da superfície e T é a temperatura medida (K).

3. PROCEDIMENTO

Para atingir o objetivo deste artigo, foi realizado um monitoramento de 20 a 27 de julho de 2020 por 14 horas contínuas. As imagens termográficas foram realizadas a cada hora, considerando o meio-dia como eixo do tempo; ou seja, foi considerado 7 horas antes e 7 horas depois. O intervalo de tempo de monitoramento foi das 5:00 da manhã às 19h00.

Foram selecionadas duas seções de estudo: a primeira localizada na avenida San Martin, entre as ruas Jordán e Sucre, na qual se defronta o Palácio da Justiça e o mercado 25 de Mayo; e a segunda na Avenida San Martin entre a Avenida Heroínas e a Rua Colômbia, em cuja linha reta existem centros comerciais e óticas.

Cada seção de estudo foi dividida em duas áreas para a obtenção de termogramas. A Figura 1 mostra as áreas onde as imagens termográficas foram obtidas: a Zona 1 está localizada na Avenida San Martin, na esquina da calçada Jordán Sudeste, de onde são obtidas imagens panorâmicas de todo o quarteirão; A Zona 2 está localizada no meio do trecho 1, avenida San Martin, entre a rua Jordán e a zona leste de Sucre; A Zona 3 está localizada no cruzamento da Avenida San Martin com Heroínas no plantador central, e a Zona 4 está localizada no meio da Seção 2, Avenida San Martin, entre a Avenida Heroínas e a Calle Colômbia.

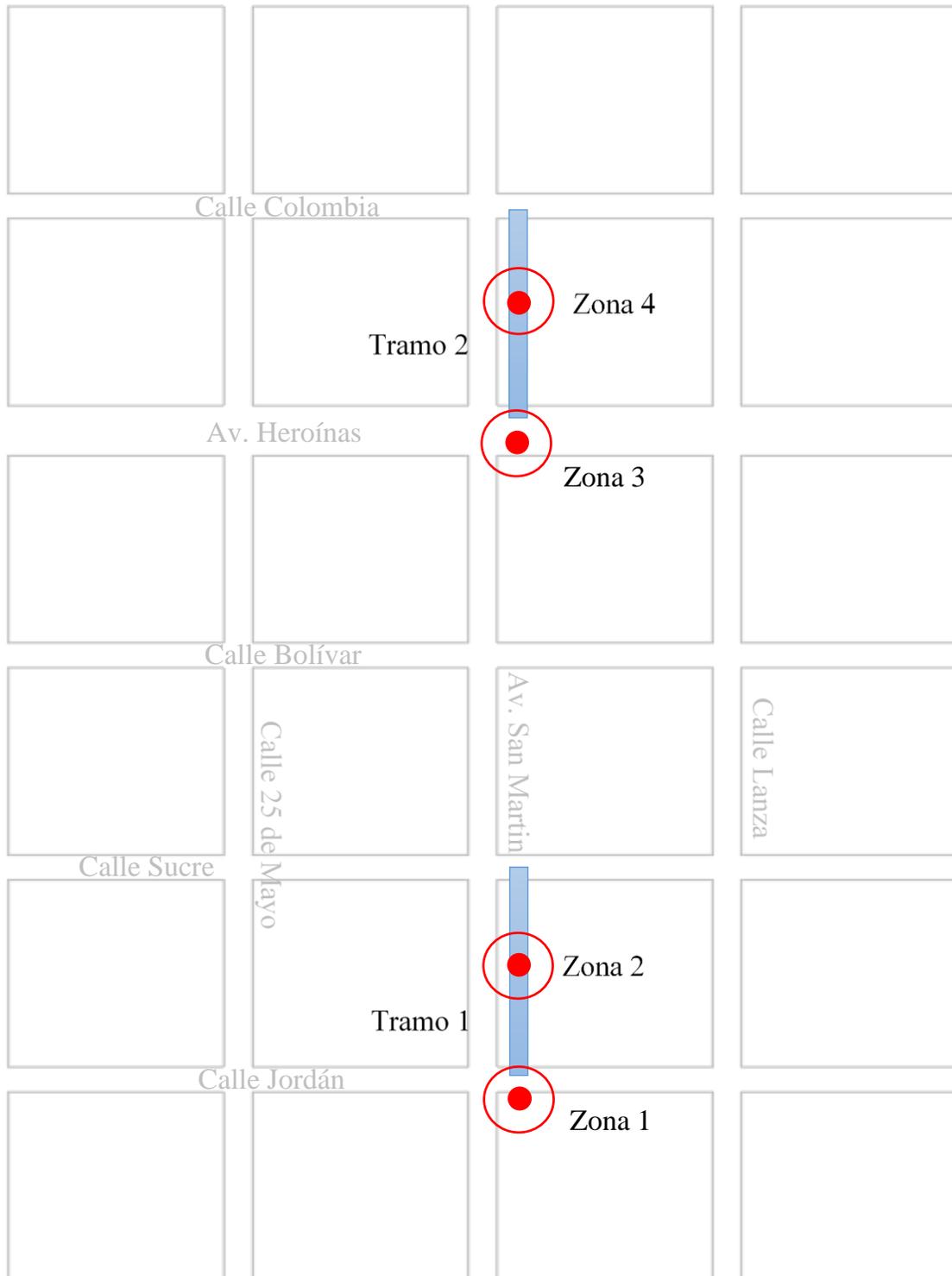


Figura 1. Zonas para obtenção de imagens termográficas.

O equipamento utilizado foi um CAT S60 equipado com câmera FLIR integrada cujas características são observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações MyFLIR de S60.

Câmera térmica e visual com MSX	
Sensor Térmico	Tamanho do pixel de 17 mm, faixa espectral de 8-14 mm.
Resolução térmica	80 x 60
Resolução visual	640 x 480
HFOV/VFOV	46° ± 1°/35°±1°
Frequência de imagem	8,7 Hz
Enfoque	Fijo 15 cm - Infinito
Integrado no Obturador	Automático/manual
Radiometria	
Faixa dinâmica da cena	-20°C - 120°C
Precisão	±5°C o ±5%
	Porcentagem da diferença entre a temperatura ambiente e a cena.
	60 s aplicável após a inicialização quando a unidade está entre 15°C e 35°C e o cenário está entre 10°C e 120°C.
Sensibilidade Térmica (MRDT)	150 mK

Fonte: FLIR (2016)

Os termogramas resultantes do monitoramento (com intervalo de 1 hora) foram processados e analisados no programa FLIRTools.

O FLIRTools além de ser uma ferramenta que facilita a criação de relatórios de fiscalização; permite editar e analisar imagens rapidamente, já que o programa possui a opção de ajustar e modificar os parâmetros; permite dimensionar a faixa de temperatura e / ou alterar a colorimetria de acordo com o cenário que for conveniente para o estudo.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados correspondem a 22 de julho de 2018, pois permitiu a detecção de gradientes térmicos e a repetibilidade dos dados. É importante mencionar que dada a sensibilidade da técnica às condições ambientais (nebulosidade intermitente e chuva) vários dias foram interrompidos e descartados para este trabalho.

Os termogramas das quatro zonas foram analisados visualmente em primeiro lugar, depois quantitativamente para determinar a faixa ótima de coleta de dados na detecção de defeitos em pavimentos flexíveis. Ao mesmo tempo, as qualidades do programa FLIRTools foram analisadas em benefício da técnica proposta.

4.1 Visibilidade de deterioração da camada de desgaste em imagens termográficas

Após monitoramento em campo, foi verificada a visibilidade da deterioração nas imagens termográficas. A Figura 2 mostra a Zona 4 e a Figura 3 o termograma.

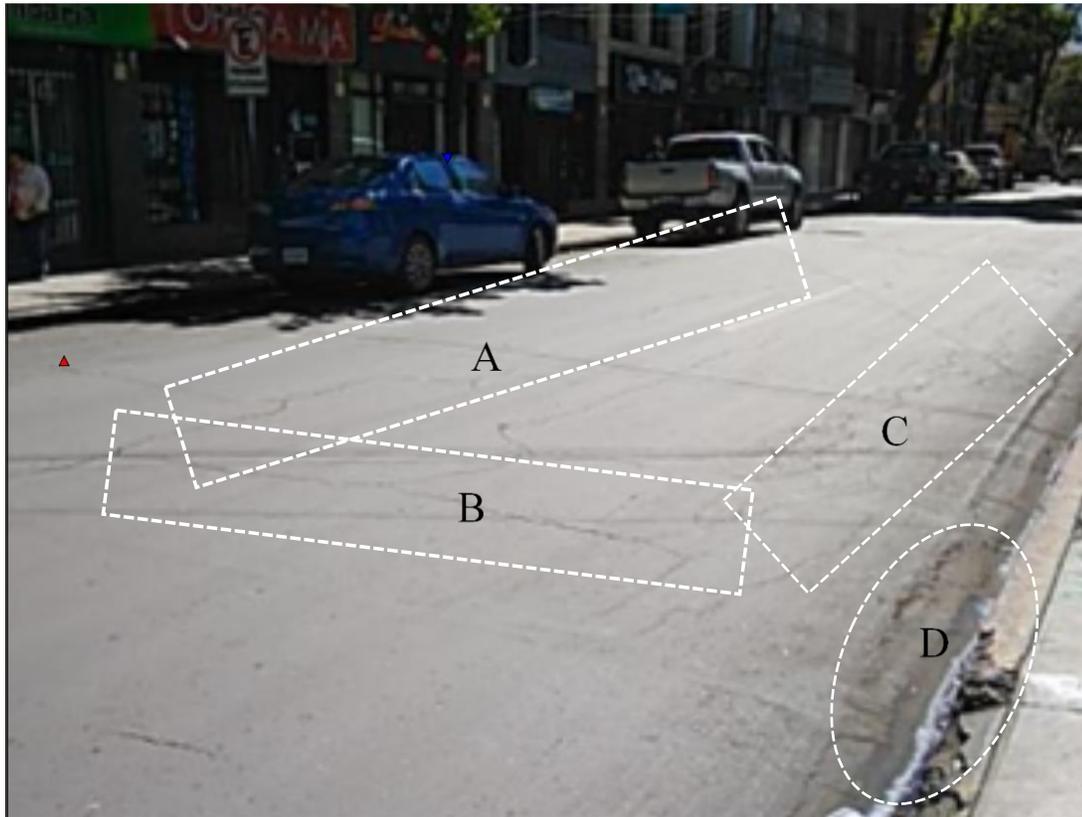


Figura 2. Imagem digital da Zona 4.

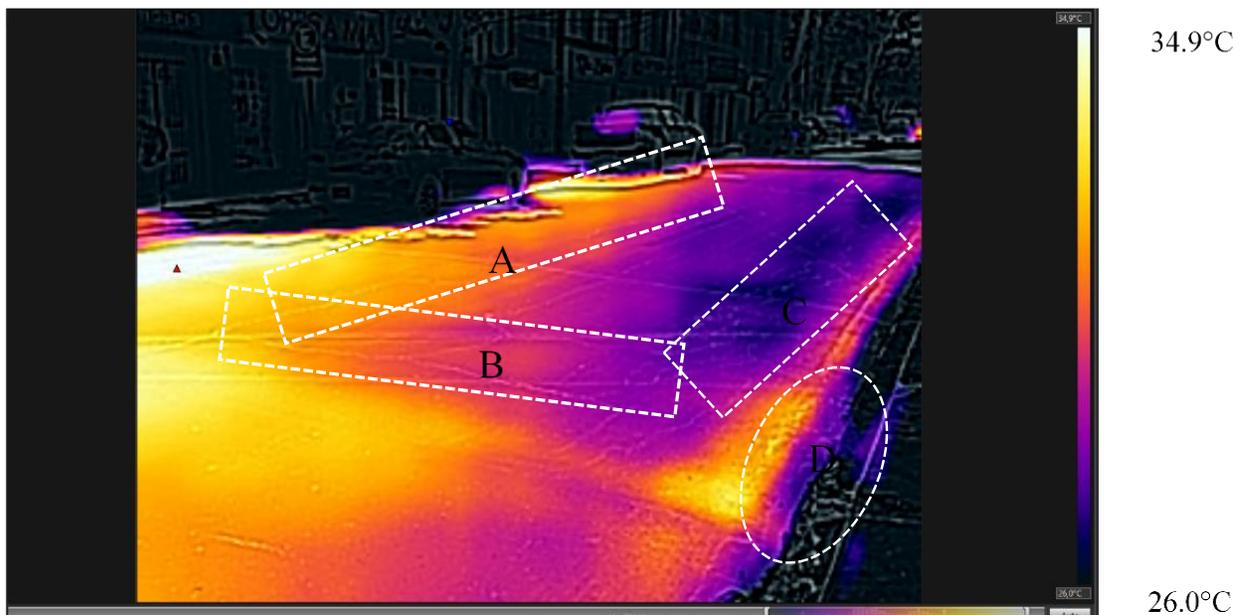


Figura 3. Imagem térmica da Zona 4.

A Figura 2 mostra fissuras transversais (B) e longitudinais (A), pele de crocodilo (C), desprendimento de agregados (D), entre outros defeitos. A Figura 3 mostra a imagem termográfica da área citada, onde é possível observar a variada colorimetria que preliminarmente revela uma relação com as falhas observadas na Figura 2.

Observe que a imagem termográfica da Figura 3 mostra a faixa de temperatura no lado direito, essa faixa varia de 26 °C a 34,9 °C. As áreas amarelas com tendência para o branco representam altas temperaturas e as áreas azuis com tendência para o preto representam baixas temperaturas. A paleta

de cores pode ser modificada de acordo com a conveniência do usuário. Porém, observa-se que não há uniformidade no pavimento asfáltico, visto que se diferenciam as áreas frias e quentes.

4.2 Variação de imagens termográficas em momentos diferentes

A colorimetria diferenciada da Zona 1 foi analisada visualmente em diferentes horários do dia na mesma faixa de temperatura com a ajuda do programa FLIRTools. Na Figura 4 as imagens termográficas da Zona 1 são apresentadas em três momentos diferentes e na mesma faixa de temperatura. A faixa de temperatura foi de 23 °C no máximo e 16 °C no mínimo. As Figuras 4a, 4b e 4c correspondem às 7h00, 13h00 e 18h00, respectivamente.

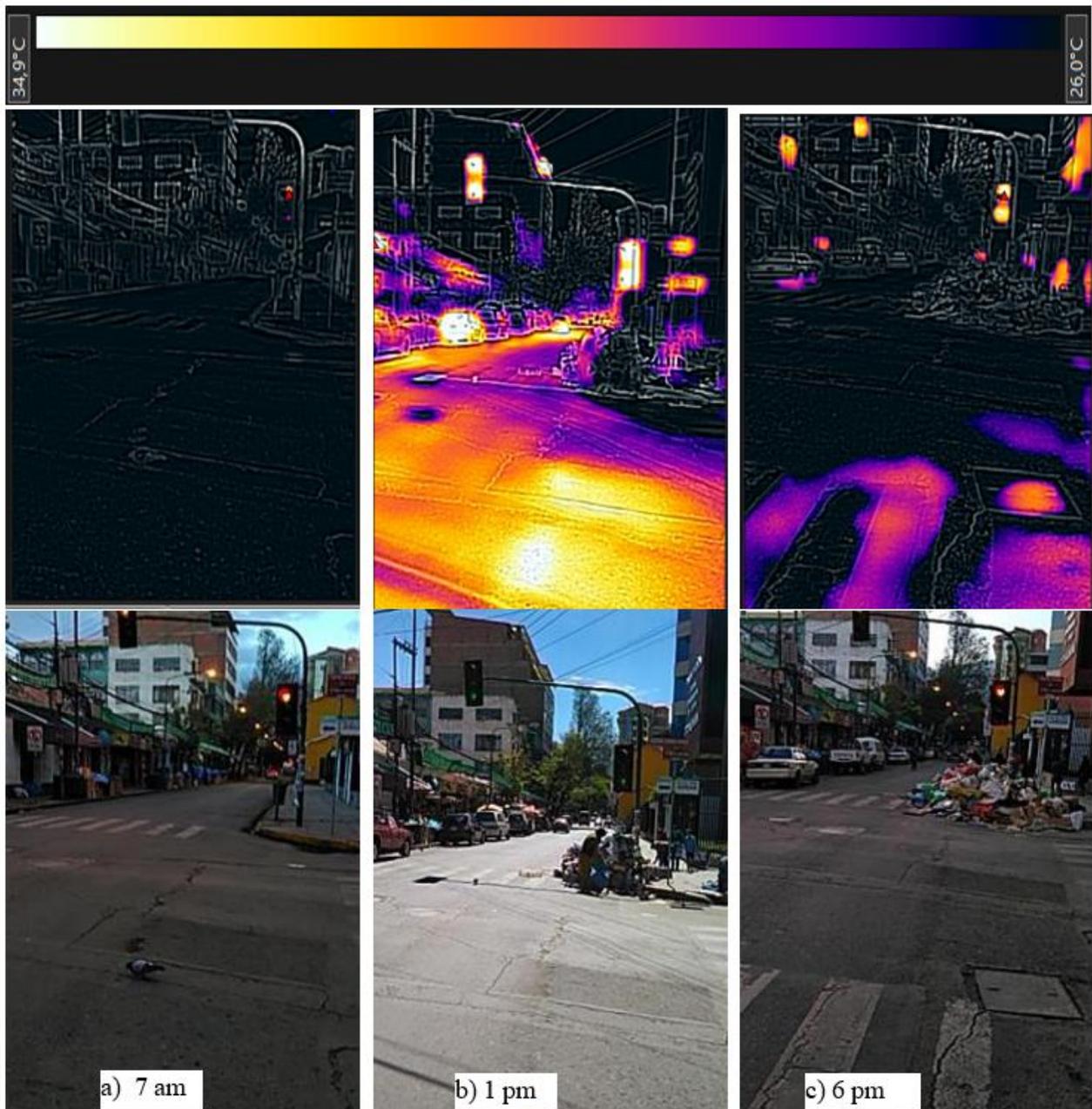


Figura 4. Visibilidade de imagens termográficas em diferentes momentos do dia na Zona 1.

Ao observar as imagens termográficas em relação às imagens digitais, pode-se notar que, na Figura 4b, correspondente às 13h, o asfalto flexível possui diferentes temperaturas em sua superfície, o mesmo não ocorre com a Figura 4a (7h00) que não apresenta diferença de temperatura no

pavimento. Na Figura 4c (18h00) pode-se observar que apenas alguns setores do pavimento apresentam temperaturas próximas ao valor máximo, de acordo com a faixa de temperatura utilizada.

4.2 Determinação do intervalo de tempo ideal durante o dia para a obtenção de imagens termográficas

Para determinar a faixa horária ótima para obtenção das imagens termográficas, foi utilizada a diferença de temperatura de dois setores com características diferentes, a fim de obter um diferencial que pode ser avaliado por meio de um gráfico.

Para obter a diferença de temperatura, foi utilizada a equação (2), expressão proposta na literatura para a análise qualitativa e quantitativa dos resultados (Washer et al., 2010; Farrag et al., 2016; Rocha et al., 2017).

$$\Delta T = T_c - T_f \tag{2}$$

Onde, ΔT é o diferencial ou gradiente térmico ($^{\circ}\text{C}$), T_c é a temperatura da área deteriorada em estudo ($^{\circ}\text{C}$) e T_f é a temperatura de uma área diferente da deteriorada ($^{\circ}\text{C}$)

As Figuras 5, 6, 7 e 8 mostram a variação da temperatura durante o tempo de monitoramento de dois pontos com características diferentes. Cada figura apresenta os resultados de uma das quatro áreas analisadas, para que seja apreciado o diferencial térmico ou gradiente de temperatura (ΔT).

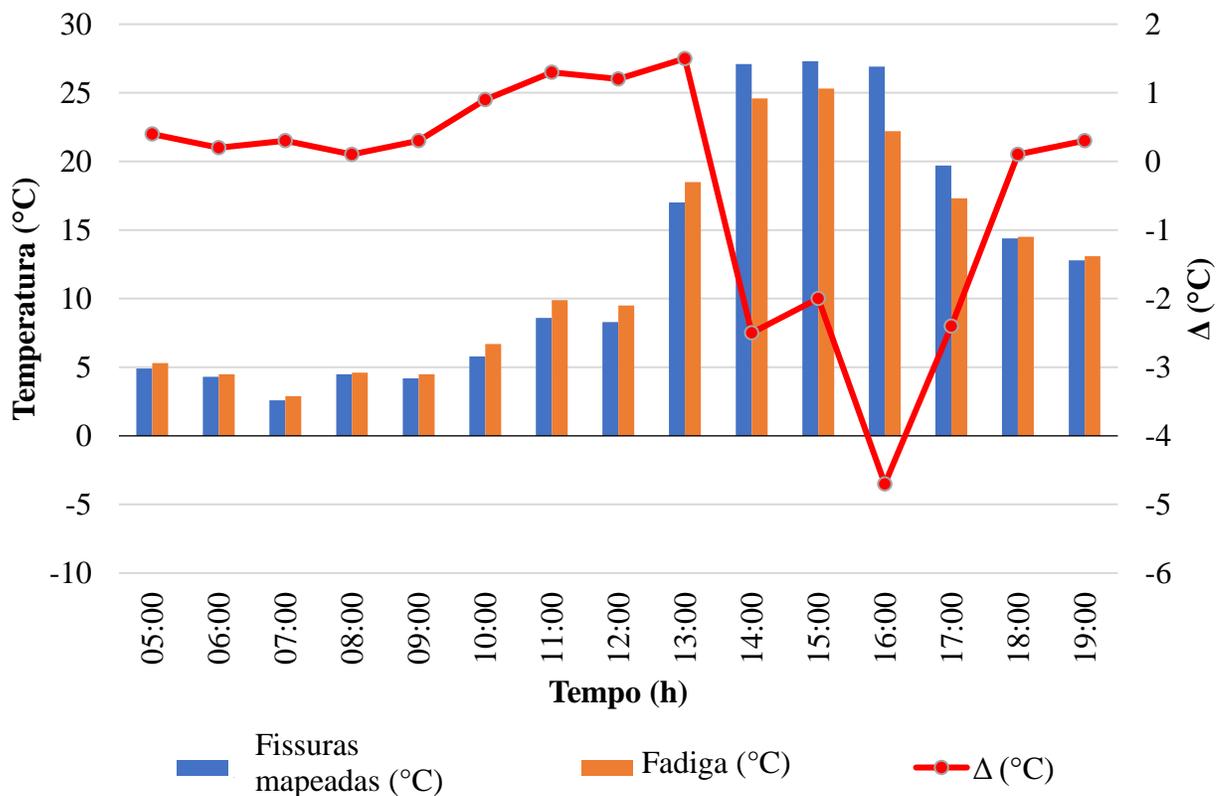


Figura 5. Temperaturas da Zona 1.

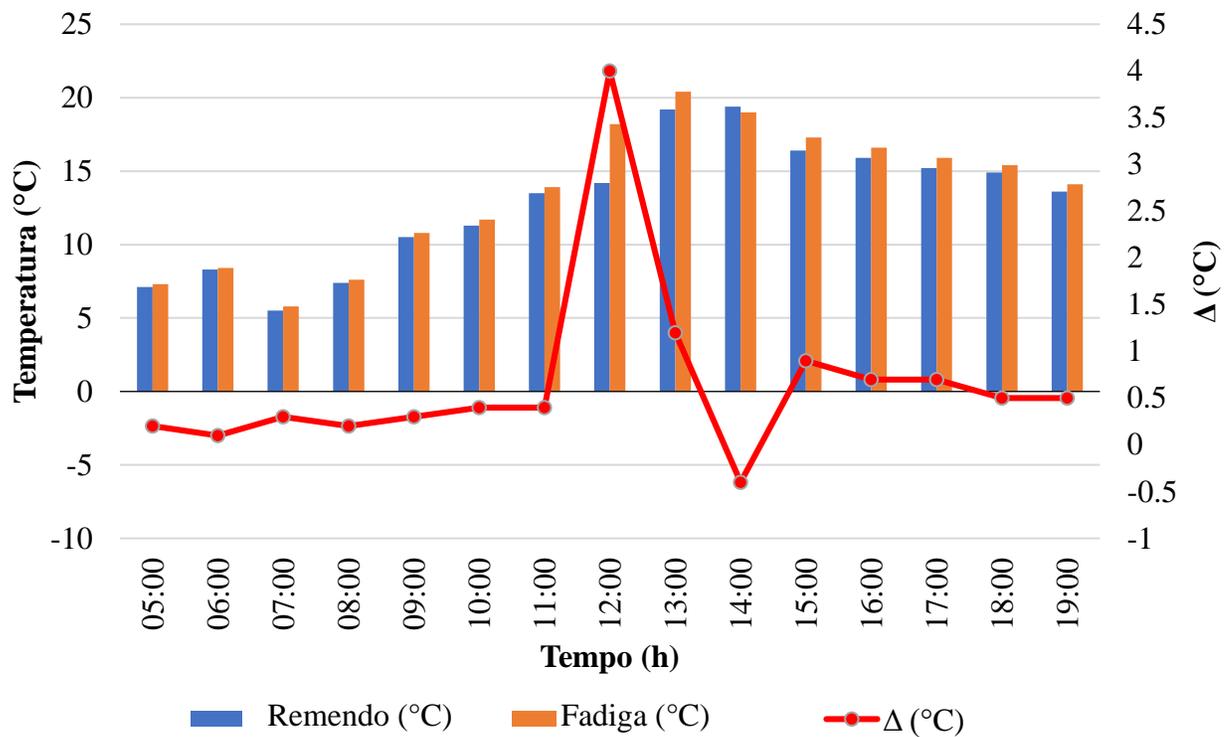


Figura 6. Temperaturas da Zona 2.

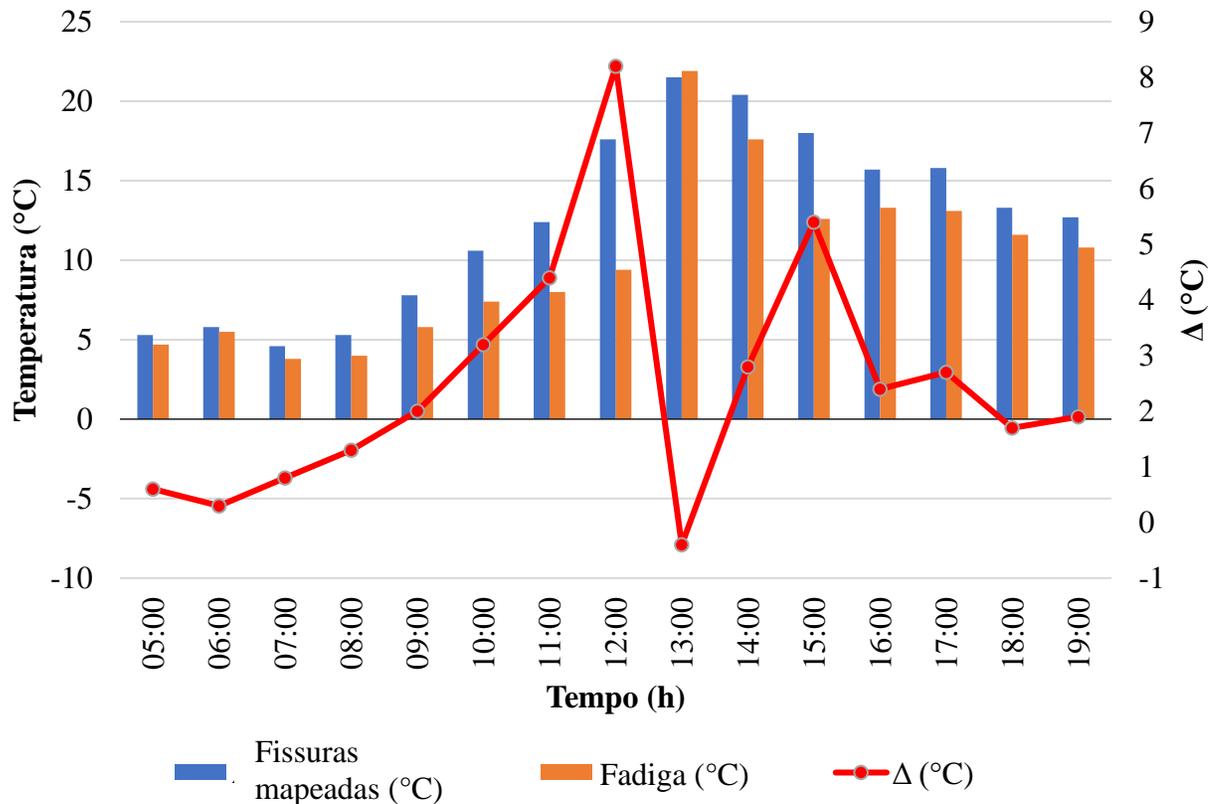


Figura 7. Temperaturas da Zona 3.

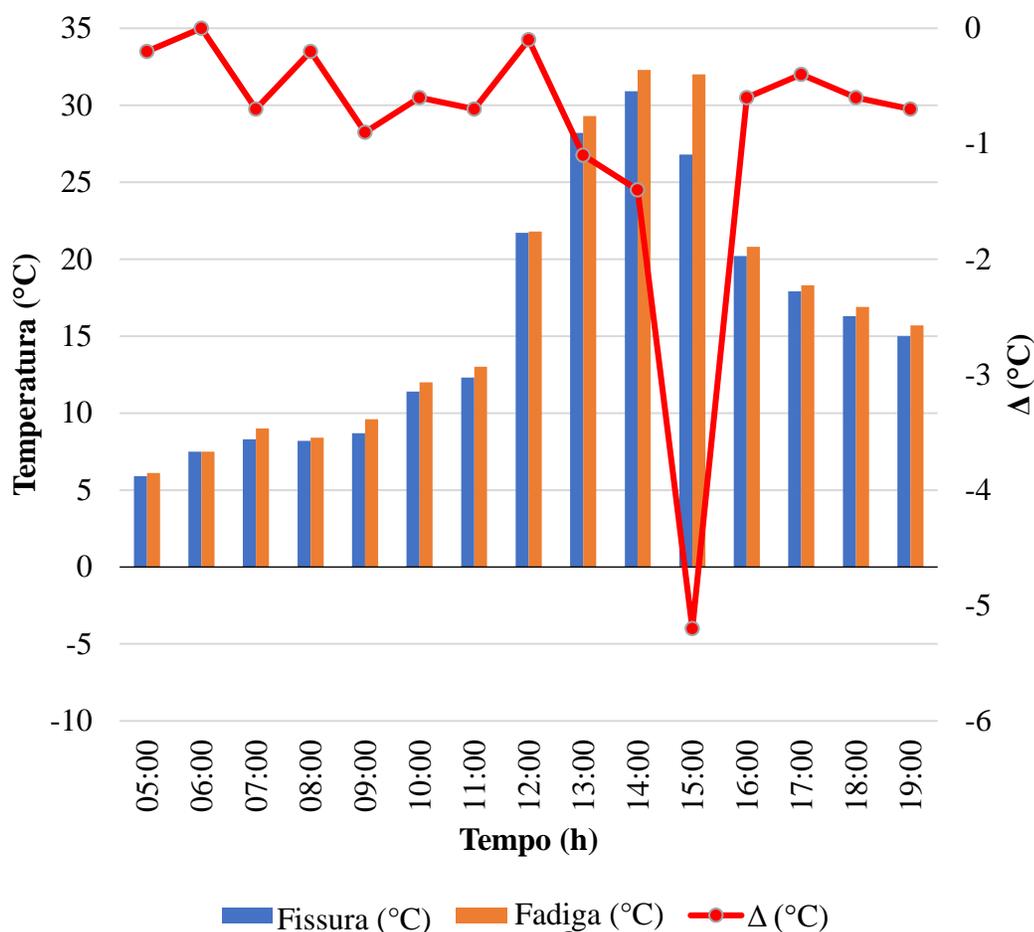


Figura 8. Temperaturas da Zona 4.

A Figura 9 mostra o diferencial de temperatura (ΔT) das quatro zonas em função do tempo, além da temperatura ambiente e da umidade relativa. Pode-se observar que os valores máximos dos gradientes térmicos ocorrem entre 11h00 e 16h00; Observa-se também que a partir das 5h00 às 8h00 os valores diferenciais são mínimos e este período não é adequado para uma análise correta. O período das 16h00 às 19h00 apresenta pequenos valores diferenciais, isso se deve ao processo de resfriamento (noturno), uma vez que a radiação solar não está presente, os setores aquecidos tendem a se equilibrar com o meio ambiente (Washer et al., 2010), Figura 4c. Percebe-se que o melhor período é das 11h00 às 16h00 porque há um maior diferencial de temperatura e permite a visualização de defeitos nos termogramas. Isso é consistente com outras pesquisas que indicam que quanto maiores os gradientes térmicos, mais facilmente os defeitos são detectados (Solla et al., 2014; Farrag et al., 2016; Rocha et al., 2017).

Em relação ao comportamento dos gradientes térmicos com a temperatura ambiente e a umidade relativa, pode-se observar que os gradientes máximos ocorrem quando a temperatura ambiente é elevada e a umidade relativa do ar baixa; pelo contrário, quando a temperatura ambiente é baixa e a umidade relativa do ar existem gradientes térmicos menores, 5:00 da manhã. às 8h00 Isso corrobora que a técnica é sensível às condições ambientais (Rocha e Póvoas, 2017).

Embora este artigo tenha sido aplicado apenas em uma época do ano, a técnica pode ser aplicada em qualquer época do ano. A exposição ao sol e uma alta temperatura ambiente são necessárias. No entanto, os períodos ideais de inspeção mudariam de acordo com a estação do ano, dependendo das horas de exposição à radiação solar e da temperatura ambiente (Washer et al., 2010).

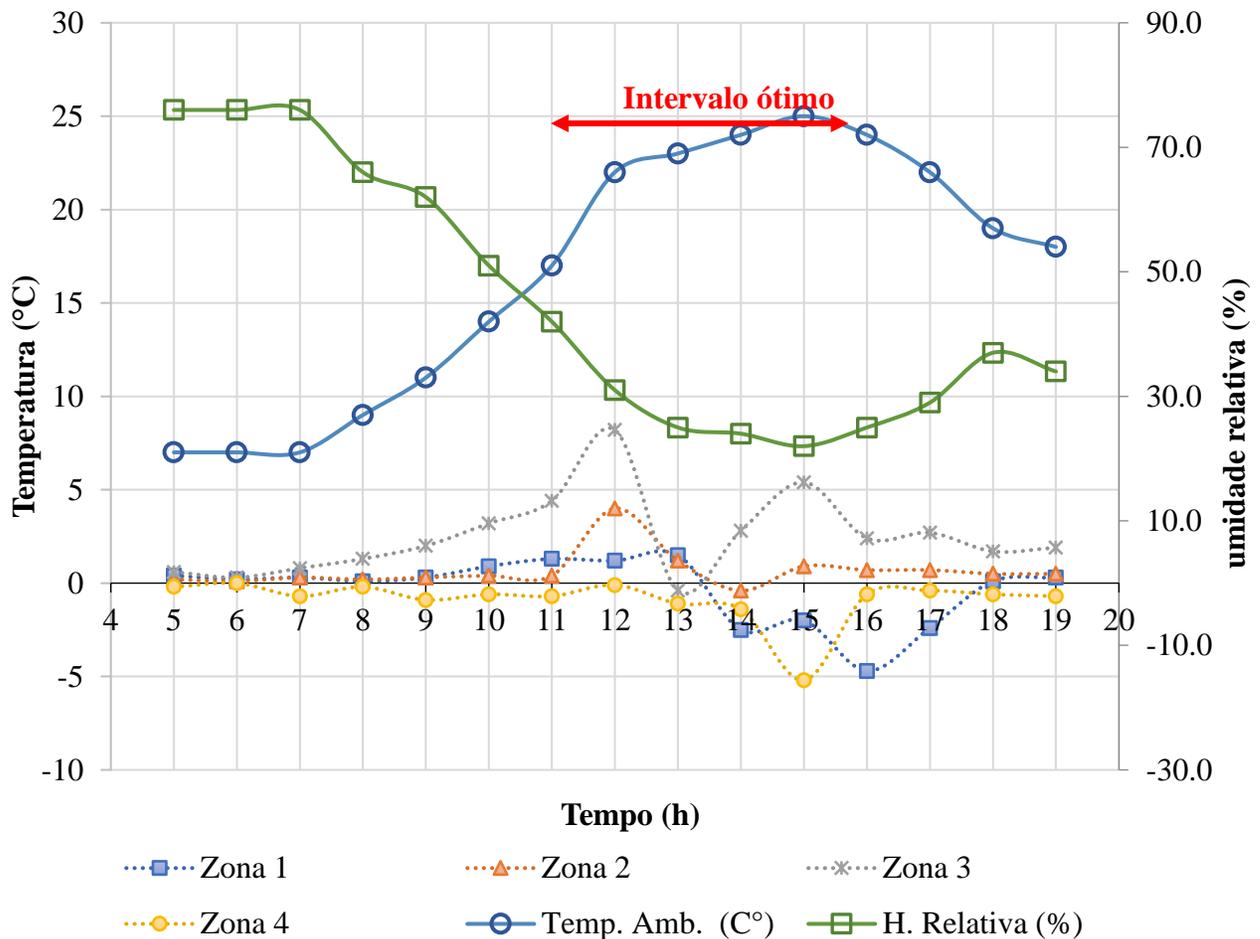


Figura 9. Gradiente de temperatura das 4 zonas em estudo.

5. CONCLUSÕES

Em suma, a aplicação da termografia infravermelha na detecção de danos em pavimentos flexíveis apresenta resultados positivos. O ensaio pode ser considerado como um método de inspeção preliminar não destrutivo, pois é capaz de analisar grandes áreas em pequenos intervalos de tempo; no entanto, esses períodos são limitados às horas da tarde. O intervalo de inspeção ideal encontrado foi das 11h00 da manhã, às 16h00.

A técnica pode detectar anomalias não visíveis, indicando o setor afetado, mas não o tipo e a magnitude do dano. Este aspecto requer uma inspeção detalhada onde, com outros estudos e ensaios, o tipo e a natureza do dano refletido pela colorimetria do termograma podem ser determinados com precisão.

A técnica mostra gradientes térmicos baixos em dias nublados em oposição a dias ensolarados com altas temperaturas. Mudanças repentinas na temperatura ambiente durante o monitoramento geram dados descontínuos que prejudicam a análise do comportamento de deterioração em pavimentos flexíveis, especialmente no caso de inspeções preliminares. A aplicação de termografia infravermelha ativa e outros ensaios não destrutivos podem reduzir essas incertezas e gerar resultados mais objetivos.

6. REFERÊNCIAS

- ABC – Administradora Boliviana de Carreteras (2011), “*Manual de diseño de conservación vial*”. ABC, La Paz, Bolivia, p. 365. Last access on May 30, 2019. Available at: http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/09/manual_de_diseño_de_conservación_vial_abc.pdf
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B., Saravanan, T., Philip, J. (2013), *Infrared thermography for condition monitoring - A review*. Infrared Physics & Technology. 60(1):35-55. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
- Bolivia (2006a), *Ley N°3507*, 27 de octubre de 2006. Último acceso 30 de mayo de 2019. Disponible en: http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/07/Ley_3507.pdf
- Bolivia (2006b), *Decreto Supremo N°28946*, 25 de noviembre de 2006. Last access on May 30, 2019. Available at: http://www.abc.gob.bo/wp-content/uploads/2018/07/Decreto_Supremo_N%C2%BA_28946.pdf
- Cengel, Y. (2003), “*Heat Transfer, a practical approach*”. McGraw-Hill, Segunda Edición, p. 932.
- Farrag, S., Yehia, S., Qaddoumi, N. (2016). *Investigation of Mix-Variation Effect on Defect-Detection Ability Using Infrared Thermography as a Nondestructive Evaluation Technique*. Journal of Bridge Engineering, 21(3):1-15. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000779](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000779)
- Fernandes, F. M., Pais, J. C. (2017), *Laboratory observation of cracks in road pavements with GPR*. Construction and Building Materials, 154:1130-1138. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.022>
- FLIR (2016), “*Smartphone S60 de Cat® Manual del usuario*”. Last access on May 28, 2019. Available at: <https://www.catphones.com/download/User-Manuals/S60-Smartphone/S60-Manual-del-usario-Espa%C3%B1ol.pdf>
- Garrido, I., Lagüela, S., Arias, P. (2018), Infrared Thermography’s Application to Infrastructure Inspections. *Infrastructures*, 3(3):1-19. Doi: <https://doi.org/10.3390/infrastructures3030035>
- Golrokh, A. J., Lu, Y. (2019), *An experimental study of the effects of climate conditions on thermography and pavement assessment*. International Journal of Pavement Engineering, 1-12. Doi: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1656809>
- Janků, M., Cikrle, P., Grošek, J., Anton, O., Stryk, J. (2019), *Comparison of infrared thermography, ground-penetrating radar and ultrasonic pulse echo for detecting delaminations in concrete bridges*. Construction and Building Materials, 225:1098–1111. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.320>
- Khamzin, A. K., Varnavina, A. V., Torgashov, E. V., Anderson, N. L., Sneed, L. H. (2017), *Utilization of air-launched ground penetrating radar (GPR) for pavement condition assessment*. Construction and Building Materials, 141:130-139. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.105>
- Lin, S., Ashlock, J., Williams, R. C., Lee, H. D., Wang, Y. (2018), *Evaluation of three nondestructive testing techniques for quality assessment of asphalt pavements*. Nondestructive Testing and Evaluation, 33(4):361-375. Doi: <https://doi.org/10.1080/10589759.2018.1484921>
- Los Tiempos (2016), “*Caos de tráfico vehicular en la ciudad de Cochabamba*”. Last access on May 30, 2019. Available at: <http://www.lostiempos.com/actualidad/opinion/20161221/columna/caos-trafico-vehicular-ciudad-cochabamba>
- Los Tiempos (2016), “*Población protesta por el mal estado de las calles en Cochabamba*”. Last access on June 25, 2019. Available at: <https://www.lostiempos.com/actualidad/local/20160420/poblacion-protesta-mal-estado-calles-cochabamba>

- Los Tiempos (2019), “Cochabamba: ciudad de baches y eternas fallas en el asfalto”. Último acceso 25 de junio de 2020. Disponible en: <https://www.lostiempos.com/especial-multimedia/20190408/cochabamba-ciudad-baches-eternas-fallas-asfalto>
- Lovera, G. C. (2017), “La política caminera del modelo de capitalismo de Estado de 1952 – 1985”, Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés, p. 126.
- Muñoz-Potosi, A., Pencue-Fierro, L., León-Téllez, J. (2009), *Análisis Termográfico Para La Determinación De Puntos Críticos En Equipos Mecánicos Y Eléctricos*. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 7(1):1-4. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90312171013>
- Opinión (2018), *Alcaldía inicia reparación de baches en las calles*. Último acceso 25 de junio de 2020. Disponible en: <https://www.opinion.com.bo/articulo/cochabamba/alcald-iacute-inicia-reparaci-oacute-n-baches-calles/20180220000500605048.html>
- Rehman, S., Ibrahim, Z., Memon, S. A., Jameel, M. (2016), *Nondestructive test methods for concrete bridges: A review*. Construction and Building Materials. 107(15):58-86. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011>
- Revillas, S. (2011), “Guía de la termografía infrarroja, aplicaciones en ahorro y eficiencia energética”. eBuilding, Madrid, España, p. 189. Available at: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf>
- Rocha, J., Póvoas, Y. (2017), *Infrared thermography as a non-destructive test for the inspection of reinforced concrete bridges: A review of the state of the art*. Revista ALCONPAT, 7(3):200-214. Doi: <https://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>
- Rocha, J., Póvoas, Y., Silva, M., Monteiro, E. (2017), *Análise da Profundidade de Fissuras em Concreto com Termografia Infravermelha*. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 2(3): 58-65. Doi: <https://doi.org/10.25286/rep.v2i3.688>
- Solla, M., Lagüela, S., González-Jorge, H., Arias, P. (2014), *Approach to identify cracking in asphalt pavement using GPR and infrared thermographic methods: Preliminary findings*. Ndt & E International, 62:55-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2013.11.006>
- Tosti, F., Ciampoli, L. B., D'Amico, F., Alani, A. M., Benedetto, A. (2018), *An experimental-based model for the assessment of the mechanical properties of road pavements using ground-penetrating radar*. Construction and Building Materials, 165: 966-974. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.179>
- Vyas, V., Patil, V. J., Singh, A. P., Srivastava, A. (2019), *Application of infrared thermography for debonding detection in asphalt pavements*. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 9:325-337. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13349-019-00337-8>
- Washer, G., Fenwick, R., Bolleni, N. (2010), *Effects of Solar Loading on Infrared Imaging of Subsurface Features in Concrete*. Journal of Bridge Engineering, 15(4): 384-390. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000117](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000117)