

Impacto técnico y de costos de las diferencias en la clasificación funcional de los pavimentos de carreteras

J. L. C. Sousa^{1*} , C. L. Maia¹ , S. D. Vasconcelos¹ , F. H. L. Oliveira¹ 

* Autor de Contacto: levi.chaves@det.ufc.br

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v14i2.680>

Recibido: 03/03/2024 | Correcciones recibidas: 16/04/2024 | Aceptado: 24/04/2024 | Publicado: 15/05/2024

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar si existen diferencias en la clasificación del estado superficial de un pavimento de carretera flexible utilizando el Levantamiento Visual Continuo (LVC) y el Índice de Gravedad Global (IGG). Se seleccionó un segmento de carretera revestido con Concreto Asfáltico, con el objetivo de evaluar los costos asociados a cada clasificación. Debido a la limitación de un mayor tiempo para obtener el IGG, el análisis se limitó a ese segmento. Los resultados revelaron divergencias en las clasificaciones y costos de los métodos en los segmentos iniciales de la carretera. Se concluyó que el LVC ofreció mejores resultados que el IGG, atribuible a la subjetividad inherente de la evaluación humana. Además, se observó que los dos métodos se complementan en el análisis funcional de pavimentos de carreteras.

Palabras clave: evaluación; pavimentos; defectos; rehabilitación; carreteras.

Citar como: Sousa, J. L. C., Maia, C. L., Vasconcelos, S. D., Oliveira, F. H. L. (2024), "Impacto técnico y de costos de las diferencias en la clasificación funcional de los pavimentos de carreteras", Revista ALCONPAT, 14 (2), pp. 211 – 223, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v14i2.680>

¹ Departamento de Ingeniería del Transporte, Universidad Federal de Ceará (UFC), Fortaleza, Brasil.

Contribución de cada autor

En este trabajo, el autor J. L. C. Sousa contribuyó con la actividad de recolección de datos, idea original, revisión bibliográfica (80%), redacción del trabajo (80%), discusión de los resultados y conclusiones (80%), la autora C. L. Maia contribuyó con la revisión bibliográfica (20%), redacción del trabajo (20%), discusión de resultados y conclusiones (20%), los autores S. D. Vasconcelos y F. H. L. Oliveira actúan como asesores y revisores del trabajo en su conjunto.

Licencia Creative Commons

Copyright (2024) es propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0). ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación.

Cualquier discusión, incluida la respuesta de los autores, se publicará en el primer número del año 2025, siempre que la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2024.

Technical and cost impact of differences in functional classification of road pavements

ABSTRACT

This work aims to analyze whether there are differences in the classification of the condition of a flexible road pavement using Continuous Visual Survey (LVC) and the Global Gravity Index (IGG). A section of a road paved with Asphalt Concrete was selected to assess the costs associated with each classification. Due to the longer time required for obtaining IGG, the analysis was limited to this section. The results revealed discrepancies in classifications and costs between the methods in the initial segments of the road. It was concluded that LVC provided better results than IGG, attributed to the inherent subjectivity of human assessment. Additionally, it was observed that the two methods complement each other in the functional analysis of road pavements.

Keywords: evaluation; pavement; distress; rehabilitation; highways.

Impacto técnico e de custos das diferenças de classificação funcional de pavimentos rodoviários

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de analisar se existem diferenças na classificação da condição da superfície de um pavimento flexível rodoviário utilizando o Levantamento Visual Contínuo (LVC) e o Índice de Gravidade Global (IGG). Selecionou-se um trecho de em uma rodovia revestida com Concreto Asfáltico, visando a avaliação dos custos associados a cada classificação. Dada a exigência de um tempo maior para obtenção do IGG, a análise foi limitada a esse trecho. Os resultados revelaram divergências nas classificações e nos custos dos métodos nos segmentos iniciais da rodovia. Concluiu-se que o LVC ofereceu resultados melhores que o IGG, atribuíveis à subjetividade inerente à avaliação humana. Além disso, notou-se que os dois métodos se complementam na análise funcional de pavimentos rodoviários.

Palavras-chave: avaliação; pavimentos; defeitos; reabilitação; rodovias.

Informaciones legales

Revista ALCONPAT es una publicación trimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Rehabilitación de la Construcción, Internacional, A.C., Km 6, antigua vía a Progreso. Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de derechos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática de ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente la posición del editor.

La reproducción total o parcial del contenido y de las imágenes de la publicación es realizada de acuerdo con el código COPE y la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

El estado general de la red vial brasileña empeoró en 2022 respecto al año anterior. De los 110.333 kilómetros evaluados por la Confederación Nacional del Transporte, el 66% fueron clasificados como Regular, Malo o Pésimo; en 2021, este porcentaje fue del 61,8% (CNT, 2022). La presencia de defectos en los pavimentos requiere, con el tiempo, inversiones para restaurar su estructura. Por lo tanto, la aplicación de métodos de evaluación de defectos tiene como objetivo; determinar las condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos y ayudar a los gestores en el proceso de toma de decisiones respecto a los servicios de mantenimiento y rehabilitación (M&R).

Según CNT (2022), la condición de los pavimentos de las carreteras en el noreste de Brasil genera un aumento de los costos operacionales del transporte del 33,8%. Además, para recuperar esas carreteras, con acciones de emergencia de restauración y reconstrucción, se necesitan R\$ 20,18 mil millones. Este monto demuestra que el número de defectos en los pavimentos puede afectar directamente los costos de mantenimiento y rehabilitación, mostrando así la importancia de analizar el estado de los pavimentos de las carreteras.

Los métodos para evaluar el estado superficial de los pavimentos pueden llevarse a cabo de forma subjetiva u objetiva. Los métodos subjetivos consideran la opinión del profesional responsable del estudio y los métodos objetivos realizan un análisis cuantitativo de los defectos encontrados. El Departamento Nacional de Infraestructura del Transporte (DNIT) cuenta con procedimientos específicos para la realización de estas encuestas, como el Levantamiento Visual Continuo (LVC), un método subjetivo, y el Índice de Gravedad Global (IGG), un método objetivo. Por consiguiente, es evidente que pueden existir divergencias en las clasificaciones de una misma carretera entre los métodos LVC e IGG, resultando en disparidades en cuanto a las alternativas de M&R y los costos asociados.

Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo verificar el impacto técnico y de costos de M&R del estado de la superficie de un pavimento de carretera flexible, utilizando los métodos de Levantamiento Visual Continuo (LVC) e Índice de Gravedad Global (IGG).

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Es bien sabido que los pavimentos sufren degradación con el paso del tiempo debido a factores como el tráfico y el clima. Con ello surge la necesidad de realizar servicios de mantenimiento y rehabilitación (M&R) y, en algunos casos, la reconstrucción de los segmentos analizados.

Según Lira y Oliveira (2019), se debe definir el momento oportuno para realizar M&R en pavimentos viales, ya que el costo de recuperación aumenta rápidamente a medida que ocurre la degradación del pavimento. Además, el mal estado de las carreteras contribuye a la aparición de accidentes, que tienen elevados costes para la administración pública. Según la CNT (2022), el costo de los accidentes supera la inversión en carreteras con una diferencia de R\$ 4,69 mil millones. De esta forma, se puede definir la ejecución de intervenciones en pavimentos deteriorados con la ayuda de evaluaciones para identificar defectos en los pavimentos.

El DNIT (2003a y 2003b) establecen los criterios y equipos utilizados para realizar estudios de defectos en pavimentos viales, utilizando métodos subjetivos y objetivos, respectivamente. En la valoración subjetiva se realiza el Levantamiento Visual Continuo (LVC), utilizando dos personas a bordo de un vehículo a una velocidad de trabajo constante de 40 km/h. Con el LVC se determina el Índice de Gravedad Global Acelerado (IGGE), el Índice de Condición del Pavimento Flexible (ICPF) y, finalmente, el Índice de Condición Superficial (IES) (CAVALCANTE et al., 2018). En la evaluación objetiva, el reconocimiento se realiza a pie, verificando los defectos y llenando el inventario de ocurrencia como se detalla en el DNIT (2003a), y con base en los datos registrados y los factores de ponderación para cada tipo de defecto, se puede calcular el Índice de Gravedad Global (IGG). La clasificación funcional del pavimento para cada uno de estos índices varía de

Pésimo a Óptimo, según la división de la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del estado del pavimento por los métodos IGG y LVC.

| LVC | | | IGG | Clasificación |
|--|-----|--------|---------------------|---------------|
| Descripción | IES | Código | Límites | |
| $IGGE \leq 20$ y $ICPF > 3,5$ | 0 | A | $0 < IGG \leq 20$ | Óptimo |
| $IGGE \leq 20$ y $ICPF \leq 3,5$ | 1 | B | $20 < IGG \leq 40$ | Bueno |
| $20 \leq IGGE \leq 40$ y $ICPF > 3,5$ | 2 | | | |
| $20 \leq IGGE \leq 40$ y $ICPF \leq 3,5$ | 3 | C | $40 < IGG \leq 80$ | Regular |
| $40 \leq IGGE \leq 60$ y $ICPF > 2,5$ | 4 | | | |
| $40 \leq IGGE \leq 60$ y $ICPF \leq 2,5$ | 5 | D | $80 < IGG \leq 160$ | Malo |
| $60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$ | 7 | | | |
| $60 \leq IGGE \leq 90$ y $ICPF \leq 2,5$ | 8 | E | $IGG > 160$ | Pésimo |
| $IGGE > 90$ | 10 | | | |

Fuente: Adaptado de DNIT (2003a) y DNIT (2003b)

Santos y Silva Júnior (2018) realizaron una evaluación de las condiciones superficiales del pavimento flexible de la Carretera TO-255, en un segmento de 39,1 km, mediante Levantamiento Visual Continuo (LVC). Los autores clasificaron el estado de conservación del pavimento y resaltaron la importancia de planificar medidas de M&R, para evitar empeorar las condiciones de la carretera.

Por su parte, Lira y Oliveira (2019) analizaron la influencia de las divergencias entre clasificaciones objetivas (IGG) y subjetivas (ICPF) para definir estrategias de M&R en las carreteras federales brasileñas. Los autores observaron que existe una tendencia del ICPF a clasificar el pavimento con mejores conceptos respecto a los verificados por el IGG debido a la interferencia de la percepción de los evaluadores en la indicación de las calificaciones.

Silva et al. (2018b) presentaron un procedimiento para inspeccionar el estado funcional de los pavimentos utilizando el Levantamiento Visual Continuo Computarizado (LVCI) utilizando el Método de Escaneo de Defectos. Los autores observaron que el LVCI aumenta la precisión de los inventarios de defectos del pavimento, ya que considera toda el área del carril de circulación a lo largo del segmento evaluado.

Para realizar una comparación entre métodos de levantamiento de defectos en pavimentos flexibles, en un segmento de la carretera BR-060 en el estado de Mato Grosso do Sul, Cavalcante et al. (2018) analizaron las diferencias entre los métodos brasileños y americanos. Los autores observaron que las especificaciones brasileñas dieron lugar a divergencias en los resultados finales, mientras que las normas estadounidenses tuvieron convergencia.

Silva et al. (2018a) realizaron un análisis comparativo entre el Índice de Gravedad Global (IGG) y el Índice de Estado de Superficie (IES), en un segmento de la Carretera BR-116 en el estado de Ceará. Al comparar los resultados obtenidos para los dos índices, los autores comprobaron una divergencia de conceptos en los extractos analizados. A través del IES se le asignó al pavimento una peor condición de degradación. Este hecho puede estar relacionado con la mayor subjetividad del método LVC.

Soncim y Fernandes Júnior (2015) desarrollaron un modelo para predecir el índice de condición de pavimentos flexibles basado en información de una base de datos de carreteras, proporcionada por el Departamento de Infraestructura de Transporte de Bahía. El modelo correlacionó el desempeño del ICPF con las variables edad, tráfico y lluvia. El modelo presentó un coeficiente de correlación igual a 0,64, mostrando evidencia de la validez de su aplicación, para las características de la red

vial en el estado de Bahía.

Para determinar el IGG para un segmento de la Carretera PE-095, ubicado en la ciudad de Caruaru – PE, Santos (2014) utilizó dos métodos: DNIT (2003) y evaluación objetiva de la superficie del pavimento de todo el segmento utilizando el método alternativo propuesto en el estudio. Con el IGG de 174, el estado de la carretera se puede clasificar, según el DNIT (2003), como pésimo, con los dos métodos utilizados.

Espíndola et al. (2018) analizaron las evaluaciones funcionales del segmento de la BR-104/AL, desde el enlace de la autopista AL-404 hasta la Praça Centenário, con una longitud de 32,47 km. Los resultados de IGG e IES fueron similares, pero los conceptos de IES indicaron una mayor gravedad del deterioro en la superficie del pavimento. La vía se encontraba en un estado de deterioro de moderado a alto, requiriendo restauración/mantenimiento en alrededor del 70% de los segmentos.

Con el objetivo de comparar la aplicación del Índice de Gravedad Global (IGG) en la evaluación funcional de cinco vías municipales de Caucaia, estado de Ceará, Silva et al. (2022) analizaron las vías antes y después de un proceso de restauración, permitiendo estimar la utilidad de los pavimentos en dos situaciones diferentes, además de analizar la inversión realizada en cada vía. Todas las calles inspeccionadas mediante el método IGG fueron clasificadas como Malas, destacando varios problemas superficiales en el pavimento. Tras las intervenciones de recalificación, se observó una mejora notable en el estado de utilización actual, lo que se tradujo en un aumento del confort de rodadura y de la seguridad del tráfico.

Marcolan et al. (2020) evaluaron funcionalmente el pavimento correspondiente a segmentos de la ERS-585 como una forma de verificar su estado y la necesidad de medidas correctivas. Los segmentos fueron clasificados como Malo y Pésimo según los conceptos asignados por el IGG, reflejando la necesidad de medidas de restauración del pavimento. Los principales defectos encontrados fueron: agrietamiento de piel de caimán interconectada, desgaste, baches y parches.

Con la intención de identificar y analizar los principales defectos existentes en la Av. María Merandoilina, Santos et al. (2021) investigaron los impactos causados en esta vía, utilizando LVC, para evaluar la calidad física de la avenida, con el objetivo de mostrar su clasificación y las reparaciones necesarias para restaurar la calidad de la avenida. La avenida tiene un IGGE de 40.3, un ICPF de 1.5 y un IES de 5. Los valores encontrados por la LVC clasificaron la vía como Mala. Moura (2017) evaluó el nivel de manifestaciones patológicas que aparecen en la carretera TO-164, en el segmento que conecta el municipio de Xambioá con el municipio de Araguañã, en Tocantins, con una longitud de 25 km, utilizando el método LVC los resultados indican que el 24% del segmento estudiado se encuentra en Buen estado, el 36% en Regular, el 26% en Malo y el 14% en Pésimo. Las opciones de reparación van desde un simple mantenimiento preventivo hasta la reconstrucción completa de las peores secciones.

Con el objetivo de analizar un trecho de la BR-222/CE, Sousa et al. (2022) adoptaron un método tanto objetivo como subjetivo para clasificar los segmentos seleccionados en esta sección. Los investigadores observaron que las clasificaciones coinciden en el 50% del segmento evaluado. Además, encontraron que, a pesar de los diferentes enfoques metodológicos, los índices pueden ser complementarios. El método subjetivo realiza una evaluación visual integral de todos los defectos a lo largo del segmento, mientras que el método objetivo realiza una evaluación cuantitativa en estaciones específicas a lo largo de la carretera. De esta manera, ambos métodos demuestran relevancia en el análisis del estado de la carretera, especialmente cuando se utilizan juntos.

3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se dividió en tres etapas distintas, resumidas en el diagrama de flujo de la Figura 1. El segmento en estudio fue evaluado utilizando los instrumentos normativos y parámetros requeridos por el DNIT (2003a y 2003b).

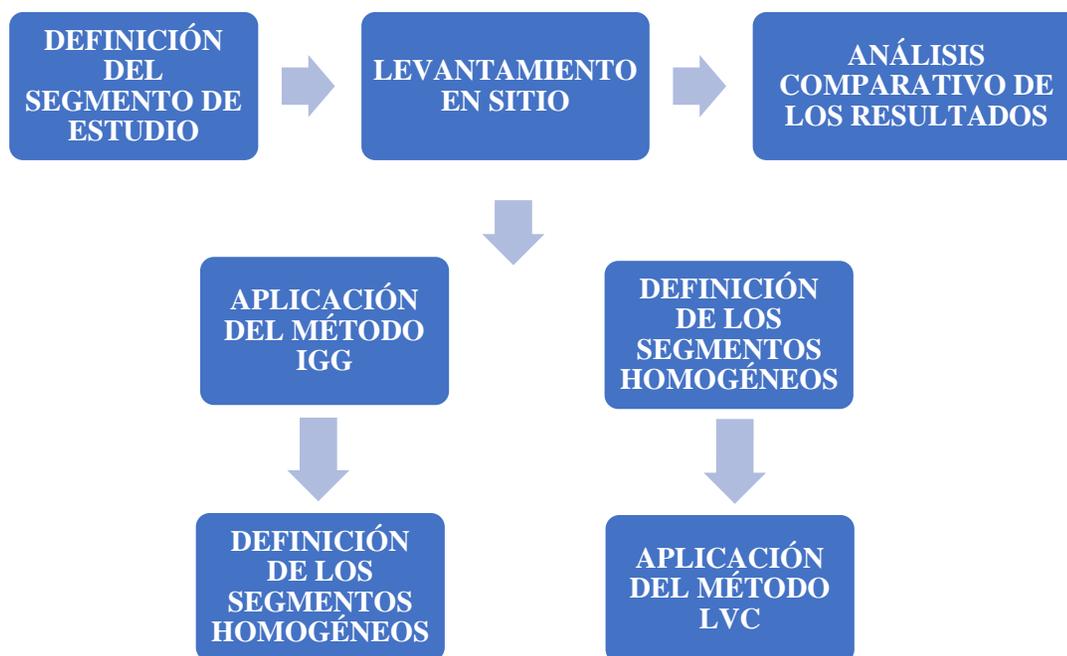


Figura 1. Etapas de la investigación.

El segmento estudiado se ubica en la Carretera BR-222, entre Forquilha y Fortaleza, Km 208 y Km 209, totalizando 2 km. La carretera analizada cuenta con una pista simple, con dos carriles de circulación, y su superficie es asfaltada. La elección de la carretera se justifica por el intenso tráfico, especialmente en los días hábiles, además de ser la principal vía de transporte que conecta la ciudad de Forquilha con la capital del estado de Ceará, Fortaleza.

El método LVC se realizó a una velocidad promedio de 30 a 40 km/h, a la que se pudieron registrar los defectos encontrados en la carretera. Para ello, los dos técnicos utilizaron una hoja de cálculo para registrar la aparición de defectos en la superficie del pavimento, dividiendo la pista en cuatro segmentos de 500 m cada uno, según DNIT (2003b). Los segmentos 1 y 2 corresponden al kilómetro 208 y los segmentos 3 y 4 corresponden al kilómetro 209. Con base en el levantamiento de campo se pudo determinar el valor del Índice de Condición de Pavimentos Flexibles y Semirrígidos (ICPF), así como el cálculo del Índice de Gravedad Global Acelerado (IGGE) y del Índice de Estado de Superficie (IES).

Al aplicar el IGG se estableció una señalización cada 20 metros alternados con relación al eje de la calzada, ya que el tramo en estudio es un carril simple. Se utilizaron seis segmentos, tomando como criterio la homogeneidad de defectos y hundimientos de la vía de las ruedas. En cuanto a la medición de depresiones de huellas de ruedas, se utilizó una celosía de aluminio estandarizada, con una varilla central móvil que tiene capacidad de medir con precisión de hasta 0,5 mm, según DNIT (2003a).

El DNIT (2003b) define que para cada clasificación existe una alternativa de intervención. Con base en esta información, se calcularon los costos asociados a cada actividad de mantenimiento y rehabilitación (M&R) de la carretera analizada utilizando el Sistema de Costos Viales (SICRO) y los Informes de Costos Promedio de Gestión. Estos sistemas fueron desarrollados por el Departamento Nacional de Infraestructura del Transporte (DNIT) y siguen los lineamientos establecidos en (DNIT, 2003c).

En este estudio se tuvieron en cuenta las composiciones de precios contenidas en el Informe SICRO Nordeste para el estado de Ceará, referido a la base de datos del mes de octubre/2022 (DNIT, 2022) y en el Informe de Costo Promedio de Gestión de julio/2017. (DNIT, 2017). Según (DNIT, 2006), los espesores recomendados para el recubrimiento asfáltico son entre 5 y 12,5 cm, y los espesores máximo y mínimo para la compactación de las capas granulares son 20 cm y 10 cm,

respectivamente. Con base en estos criterios, los costos calculados relacionados con las actividades de M&R en las secciones analizadas consideraron un espesor de 5 cm para el recubrimiento de concreto asfáltico y 15 cm de espesor para las capas granulares. A partir de los costos obtenidos, es posible comparar los valores de las intervenciones de M&R entre los métodos estudiados.

Luego de los análisis in situ y con los formularios diligenciados, se analizaron los resultados obtenidos para determinar el estado funcional del pavimento según las dos metodologías aplicadas. El estado de conservación del pavimento, determinado por los dos métodos, fue comparado entre sí, con el objetivo de analizar las diferencias técnicas entre LVC e IGG, con el objetivo de verificar las divergencias entre una evaluación objetiva y subjetiva y los costos respectivos.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En relación con LVC, se observó que los segmentos seleccionados presentaron diferentes tipos de defectos como fisuras aisladas, fisuras de piel de caimán, socavones, ondulaciones y exudación, cuyo puntaje resultó en un ICPF que varía de 2 a 4 según Tab (3). Las secciones 3 y 4 tienen un IGGE alto, demostrando así su condición crítica respecto a defectos del tipo: baches y parches. La Figura 2 muestra los defectos encontrados en los tramos analizados de la Carretera BR-222.



Figura 2 - Principales defectos encontrados en la BR-222: (a) parches y grietas cocodrilo (b) socavones (c) grietas transversales (d) baches y desgaste.

Con el ICPF y el IGGE fue posible determinar el IES y clasificar el pavimento en función de su estado de conservación. Los resultados se resumen en la Tabla 2. Con la división de los segmentos individuales de 500 m.

Tabla 2. Resumen de los resultados del LVC – Carretera BR-222 (Km 208 y Km 209).

| Segmentos | Resultados | | IES | |
|------------------|------------|------|-------|---------------|
| | ICPF | IGGE | Valor | Clasificación |
| Km 208 1 (500 m) | 4 | 0 | 0 | Óptimo |
| 2 (500 m) | 3 | 10,4 | 2 | Bueno |
| Km 209 3 (500 m) | 2 | 83,2 | 8 | Pésimo |
| 4 (500 m) | 2 | 89,4 | 8 | Pésimo |

Los resultados observados en la Tabla 2 mostraron que los segmentos 1 y 2 presentaron una clasificación Óptimo y Bueno, respectivamente, mientras que los segmentos 3 y 4 presentaron un estado Pésimo, debido al alto número de defectos en el pavimento.

En relación al IGG, los resultados encontrados con las respectivas clasificaciones se presentan en la Tabla 3, la cual contiene los valores de los seis segmentos homogéneos entre el Km 208 y el Km 209 de la carretera estudiada.

Tabla 3. Resumen de los resultados del IGG – Carretera BR-222 (Km 208 y Km 209).

| Segmentos | Resultados | |
|------------------|------------|---------------|
| | IGG | Clasificación |
| Km 208 1 (240 m) | 55 | Regular |
| 2 (260 m) | 25 | Bueno |
| 3 (500 m) | 65 | Regular |
| Km 209 4 (240 m) | 141 | Malo |
| 5 (500 m) | 162 | Pésimo |
| 6 (260 m) | 126 | Malo |

Se verificó que los resultados obtenidos en el IGG indican que ninguno de los segmentos presentó clasificación Óptimo, sólo el Segmento 2 presentó clasificación Buena, con exudación y parches en cinco estaciones. Los Segmentos 1 y 3 presentaron una clasificación Regular, el defecto más constante en el Segmento 1 fue la exudación encontrada en todas las estaciones, no identificándose grietas o fisuras aisladas, mientras que el Segmento 3 tiene principalmente presencia de grietas tipo 1, 2 y 3. Segmentos 4 y 6 fueron clasificados como Malo, ambos segmentos presentaron defectos como hundimientos, grietas y parches. El único segmento clasificado como Pésimo es el 5, en el que se encontraron defectos como baches, socavones, parches, grietas, hundimientos y desgaste. Las causas de estos defectos pueden estar asociadas a fallos ejecutivos, asentamientos diferenciales o a la propia acción del tráfico de vehículos pesados.

Además, se buscó hacer una comparación entre la evaluación mediante ambos métodos, con énfasis en el estado funcional de la carretera evaluada y los defectos encontrados en el pavimento. Para ello, en la Figura 3 se muestra un esquema de clasificación de secciones según el método utilizado.

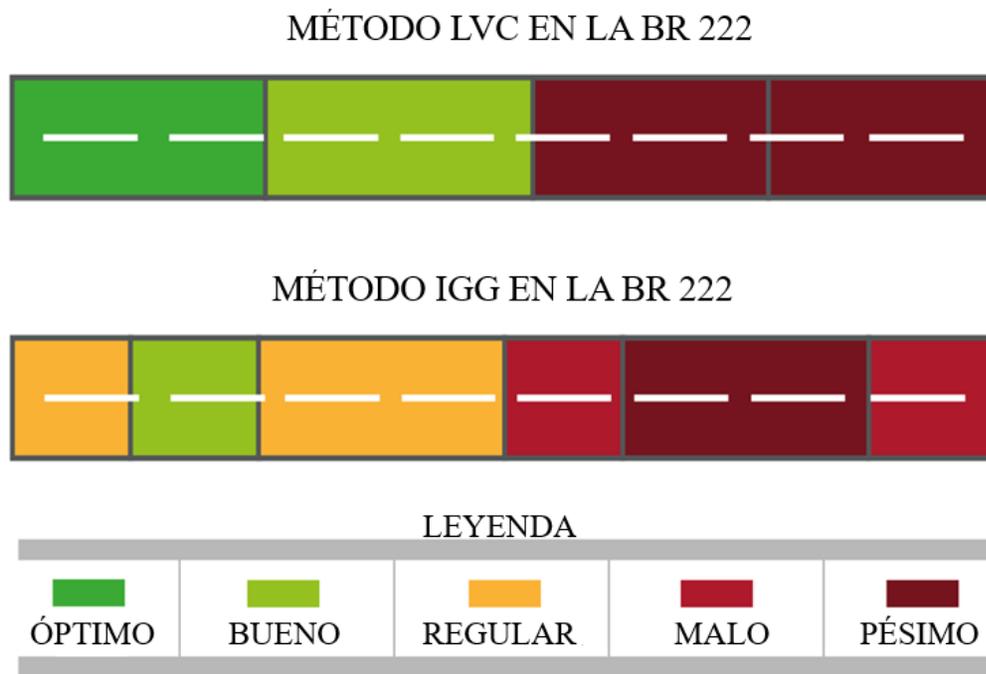


Figura 3. Comparativo de las clasificaciones de los métodos LVC y IGG.

Se observa que las divergencias entre los métodos son en su forma subjetiva u objetiva, ya que, mientras el IGG es una evaluación considerada como muestral, en la que se analizan los defectos encontrados en todas las estaciones del segmento elegido, el LVC se realiza de forma continua, es decir, la comprobación de defectos se realiza en toda la red viaria del segmento, sin embargo, se realiza de forma breve debido a la velocidad del vehículo, dejando margen de error por parte de los técnicos evaluadores. De esto se puede entender que debido a estas diferencias existen diferentes clasificaciones para los segmentos analizados en este estudio.

En cuanto al estado del pavimento, ambos métodos clasificaron los tramos del km 209 como Malo o Pésimo, demostrando que, a pesar de que el método LVC es subjetivo, un peor estado de la superficie puede ser identificado más fácilmente por los evaluadores, debido a la presencia de una mayor cantidad de defectos. Respecto al segmento 2, el método IGG lo clasificó como Bueno, mientras que el método LVC lo clasificó como Óptimo.

Varios autores han realizado estudios comparativos entre métodos de evaluación del estado de los pavimentos, ya sean objetivos o subjetivos (VIEIRA et al. 2016, CAVALCANTE et al. 2018, SILVA et al. 2018a, FERNANDES et al. 2018, SOUSA et al. 2022). Estos estudios demostraron que cada enfoque tiene sus ventajas y desventajas, contribuyendo a la comprensión del estado funcional de los pavimentos viales. Cabe señalar que, debido a los diferentes enfoques y enfoques en las evaluaciones, los métodos pueden complementarse entre sí de manera eficaz. Mientras que algunos métodos proporcionan un análisis cuantitativo (objetivo), otros proporcionan un análisis cualitativo (subjetivo).

La combinación de estos enfoques ayuda a llenar los vacíos, lo que resulta en una evaluación más completa del estado del pavimento. Por tanto, elegir el método más adecuado dependerá de las características específicas de cada situación, así como de sus limitaciones. La integración de diferentes métodos puede fortalecer la confiabilidad de las evaluaciones.

En la Tabla 4 se buscó presentar alternativas de intervenciones de mantenimiento y rehabilitación (M&R) según la clasificación de cada segmento analizado. Además, también están representados los costos de M&R para cada una de las intervenciones propuestas.

Tabla 4. Alternativas de intervención y costos de M&R.

| Clasificaciones | Alternativas de M&R | Costos unitarios | | Costo (R\$/ Km) |
|-----------------|----------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| | | | | |
| Óptimo | No hacer nada | - | - | 0,00 |
| Bueno | Aplicación de lodo asfáltico | 1,14 | R\$/m ² | 8.208,00 |
| Regular | Corrección de puntos localizados | 111,26 | R\$/m ³ | 40.053,60 |
| Malo | Restauración | 833,33 | R\$/m ³ | 1.200.000,00 |
| Pésimo | Reconstrucción | 1.620,83 | R\$/m ³ | 2.334.000,00 |

Fuente: Adaptado de la Norma DNIT (2003b), DNIT (2022), DNIT (2017)

La diferencia en la clasificación del estado de conservación del pavimento da como resultado diferentes estrategias y costos de M&R. En este sentido, el método IGG, al ser un método objetivo, podrá clasificar con mayor precisión el estado del pavimento, ya que es independiente de la opinión del evaluador. Silva et al. encontraron resultados similares. (2018a). La Tabla 5 busca mostrar una comparación de valores entre ambos métodos.

Tabla 5. Costos de las alternativas de M&R y de mano de obra de estudios de campo.

| LVC | | | | IGG | | | |
|---------------------------|--------|----------|--------------|---------------------------|---------|----------|--------------|
| Seg. | Clas. | Ext. (m) | Costos (R\$) | Seg. | Clas. | Ext. (m) | Costos (R\$) |
| 1 | Óptimo | 500 | 0,00 | 1 | Regular | 240 | 9.612,86 |
| | | | | 2 | Bueno | 260 | 2.134,08 |
| 2 | Bueno | 500 | 4.104,00 | 3 | Regular | 500 | 20.026,80 |
| 3 | Pésimo | 500 | 1.167.000,00 | 4 | Malo | 240 | 288.000,00 |
| | | | | 5 | Pésimo | 500 | 1.167.000,00 |
| 4 | Pésimo | 500 | 1.167.000,00 | 6 | Malo | 260 | 312.000,00 |
| Costo de mano de obra | | | 520,00 | Costo de mano de obra | | | 620,00 |
| Costo Total (R\$): | | | 2.338.624,00 | Costo Total (R\$): | | | 1.799.393,74 |

Se puede observar que el LVC tuvo un costo total superior al de IGG en aproximadamente un 30%. El LVC clasificó el km 209 como pésimo, por lo que el DNIT (2003b) recomienda la reconstrucción del segmento, siendo necesarios R\$ 2.334.000,00 para la rehabilitación de los tramos finales del segmento analizado. Los costos menores de R\$ 2.134,08 y R\$ 4.104,00, se presentaron en el Segmento 2, en ambos métodos, donde sólo se requiere la aplicación de lodo asfáltico. En el IGG, el mayor costo de M&R está en el segmento 5, totalizando R\$ 1.167.000,00, donde también es necesaria la reconstrucción del segmento.

Para integrar los dos métodos de forma complementaria, se calcularon los costos de mantenimiento y rehabilitación en los segmentos considerando la clasificación más desfavorable (regular, mala o pésima) entre el LVC y el IGG. En ese contexto, considerando el peor escenario de clasificación, se obtiene el valor total de R\$ 2.365.773,74. Se observa que, en relación con el método de mayor costo (LVC), la diferencia en la complementación de los métodos es de R\$ 27.149,74 para los segmentos evaluados.

En cuanto a los costos asociados a los levantamientos, al considerar sólo los costos de mano de obra responsable de los servicios de campo, la ejecución del LVC resultó en la asignación de una tarifa diaria para el técnico y otra para el conductor. Según lo estipulado por el DNIT (2021), estas tarifas diarias representan un costo de R\$ 310,00 y R\$ 210,00, respectivamente, totalizando R\$ 520,00. En cambio, en IGG, el técnico tardó dos días, resultando en un total de R\$ 620,00.

El Levantamiento Visual Continuo (LVC) arrojó que el Km 208 se encuentra en mejores condiciones que el Km 209, ya que los segmentos 1 y 2 recibieron calificaciones de Óptimo y Bueno, respectivamente, representando el 50% del segmento analizado, mientras que los segmentos 3 y 4 (50% restante) recibieron una calificación de Pésimo. El Índice de Gravedad Global (IGG) arrojó que los segmentos del km 208 fueron clasificados como Regular y Bueno, mientras que los segmentos del Km 209 fueron clasificados como Malo y Pésimo, confirmando que el Km 208 se encuentra en mejor estado de conservación del pavimento.

LVC tiene ventaja sobre IGG en términos de tiempo de ejecución, el cual duró aproximadamente 3 horas para determinar el Índice de Gravedad Global Acelerado (IGGE), el Índice de Condición de Pavimentos Flexibles y Semi-Rígidos (ICPF) y el Índice de Condición Superficial (IES) de la carretera, una desventaja asociada al hecho de que este método no considera todos los defectos, sólo considera grietas, deformaciones, baches y parches. En el Índice de Gravedad Global, existe la ventaja de que el método cubre una mayor variedad de defectos y se realiza a pie, en el que el evaluador puede efectivamente visualizar y verificar el defecto presente en la vía. Sin embargo, en cuanto a su duración, la recolección de datos del segmento analizado tomó alrededor de 12 horas, requiriendo así más tiempo por parte de los evaluadores.

El IGG contribuye a una evaluación detallada siendo objetivo, proporciona parámetros para el estado superficial del pavimento, generando un inventario de ocurrencia de defectos a través de formularios y clasificación de secciones. Finalmente, ambos métodos son fundamentales para comprender los defectos del pavimento, lo que permite actuar para minimizar estos problemas.

5. CONCLUSIÓN

Esta investigación tuvo como objetivo hacer una comparación entre dos métodos para evaluar defectos superficiales en pavimentos viales en carreteras, un método subjetivo y un método objetivo, respectivamente, el Levantamiento Visual Continuo (LVC) y el Índice de Gravedad Global (IGG). Se compararon las clasificaciones de las secciones del segmento elegido, además, fue posible comparar alternativas de intervención y costos de M&R.

Hubo diferencias en cuanto a la clasificación funcional de un mismo segmento entre los dos métodos de evaluación. El LVC presentó los dos segmentos iniciales con clasificación Bueno y Óptimo, mientras que los segmentos finales fueron clasificados como Pésimo, debido a la gran cantidad de defectos identificados. En el IGG, sólo un segmento fue clasificado como Bueno, dos segmentos fueron clasificados como Regular y la última mitad de la sección analizada recibió calificaciones de Malo y Pésimo.

En cuanto a los costos de mantenimiento y rehabilitación, se puede observar que la LVC presentó la necesidad de un costo mayor en relación con el IGG, debido a la clasificación de los segmentos finales que indican la necesidad de reconstrucción de la carretera.

Se sabe que diferentes clasificaciones del estado funcional del pavimento requieren diferentes estrategias y recursos de M&R, debiendo analizarse el método de levantamiento más adecuado, teniendo en cuenta aspectos como costo y tiempo del levantamiento, materiales, personal requerido, entre otros. Además, el IGG, al ser un método objetivo, puede ser más preciso a la hora de clasificar el estado de conservación del pavimento, ya que cuantifica los defectos existentes, sin depender de la opinión de evaluadores, como el LVC.

En este sentido, es importante resaltar que la complementariedad entre IGG y LVC puede ser estratégica. Mientras que IGG ofrece un enfoque cuantitativo (objetivo), proporcionando datos

específicos sobre los defectos, LVC aporta una evaluación cualitativa (subjetiva), identificando visualmente una variedad de defectos. La combinación de estos métodos puede proporcionar una visión más completa de la condición del pavimento, permitiendo una toma de decisiones más racional al definir estrategias de M&R. Por lo tanto, la elección entre IGG y LVC, o incluso su aplicación combinada, dependerá de las necesidades específicas de la evaluación del pavimento en cuestión.

6. REFERENCIAS

- Cavalcante, R. L., Fernandes Junior, J. L., Suárez, D. A. A. (2018), Análise Comparativa Entre Métodos de Levantamento de Defeitos em Pavimentos Flexíveis: Estudo de Caso na BR 060/MS. *46ªed. Revista Pavimentação*. 14 (1): 52-70.
- Confederação Nacional do Transporte. (2022), Pesquisa CNT Rodovias. Relatório gerencial.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2003a). *DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2003b). *DNIT 008/2003 – PRO: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2003c) Diretoria Executiva. Coordenação-Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. *Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes*. Volume 01: Metodologia e Conceitos - 3ª Edição - Brasília.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. (2006). *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. (2017). *CMG: Custos Médios Gerenciais*. Disponível en: [copy_of_anexoixcustomdiogerencialjulho2017.pdf \(www.gov.br\)](http://www.gov.br/copy_of_anexoixcustomdiogerencialjulho2017.pdf). Acceso en: 19 ene. 2023.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2021). Relatório de Consolidação dos Custos de Mão de Obra. Tabela de Preços de Consultoria - mes de referencia: octubre de 2021.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2022). Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO. Relatório Sintético de Composições de Custos CE, octubre/2022.
- Espíndola, A. C., Silva, C. A. U., Nobre Junior, E. F., Romeiro Junior, C. L. S. (2018). “Avaliação Funcional da Rodovia BR-104/AL–Trecho Urbano Da Cidade De Maceió/AL” in: Anais do 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Gramado (Brasil), pp. 1398-1409.
- Fernandes, P. G. P. S.; Carvalho, P. H. F. C.; Nobre Júnior, E. F.; Oliveira, F. H. L. (2018). “Avaliação das condições de superfície de pavimentos rodoviários por meio do VSA e do IRI obtido por aplicativo para smartphones”. in: Anais do 32º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes (ANPET), Gramado, Santa Catarina, pp. 1212-1221.
- Lira, M. N., Oliveira, F. H. L. (2019). “A Influência das Avaliações Objetiva e Subjetiva na Manutenção e Reabilitação de Rodovias Brasileiras” in: XX Congresso Ibero-Latino-Americano do Asfalto. Anais do Congresso Ibero-Latino-Americano do Asfalto, Guadalajara (México), pp. 1-10.
- Marcolan, C. M., Klamt, R. A., Knierim, L. S. (2020), Avaliação das Condições Funcionais de um Pavimento para Soluções de Restauração. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. 12 (2):149-160. ISSN 2176-7270.
- Moura, M. A. S. (2017) “Avaliação de Manifestações Patológicas na TO-164 entre os Municípios De Xambioá e Araguaianã–TO”. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário Luterano de Palmas.

- Santos, D. C. M. F., Silva Júnior, F. V. (2018), Levantamento Visual Contínuo: Análise da Rodovia TO-255, trecho de Porto Nacional a Monte do Carmo. *Engineering Sciences*. 6 (1):10-20. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2018.001.0002>
- Santos, T. S. P. (2014), “Comparação do método DNIT 006/2003 com Solução Alternativa para Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG): avaliação de trecho da PE-95 Caruaru-Limoeiro”. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco.
- Santos, Y. R. P., Barbosa, C. E. B., Lima, J. J., Meneses, M. M. M., Nascimento, P. D. L. (2021), Classificação e Diagnóstico do Estado de Conservação de uma Via em Pavimentação Asfáltica do Município de Caruaru, Pernambuco, Brasil. *Research, Society and Development*. 10 (17): 1-12. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24257>.
- Silva, J. P. O., Oliveira, F. H. L., Araújo, C. B. C. (2018a) Análise Funcional Comparativa de Trecho da BR-116 no Estado do Ceará. *Revista Tecnologia*. 39 (2): p. 1-21. <https://doi.org/10.5020/23180730.2018.7427>.
- Silva, R. C., Motta, L. M. G., Vianna, K. K. L., Souza Junior, J. G., Costa, D. P. (2018b) Levantamento Visual Contínuo Informatizado (LVCI) Pelo Método da Varredura - Comparação com Outros Métodos. *Revista Estradas*. 23 (1): 64-70.
- Silva, S. O., Chaves, J. W. R., Almeida, L. C., Oliveira, F. H. L. (2022). “Avaliação Funcional De Vias Urbanas Por Meio Do Índice De Gravidade Global (IGG) -Estudo De Caso No Município De Caucaia-Ce”. in: Anais do 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR)/47ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv), pp. 1011-1021.
- Soncim, S. P.; Fernandes Júnior, J. L. (2015), Modelo de Previsão do Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis. *Journal of Transport Literature*, 9 (3):25-29. <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n3a5>
- Sousa, J. L. C., Batista, J. C., Bastos, S. D. V., Nascimento, N. V., Barcelos, P. F., Ramos, S. P., Brasileiro, F. L. C. (2022), Avaliação da superfície de pavimentos flexíveis pelos métodos do IGG e LVC: na BR 222 (Trecho Forquilha- Fortaleza). *Brazilian Journal of Development*. 8(5): 36507–36519. DOI: 10.34117/bjdv8n5-250.
- Vieira, S. A., Pinho Júnior, A. A. E., Oliveira, F. H. L., Aguiar, M. F. P. (2016), Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos Através do IGG e PCI. *Conexões - Ciência e Tecnologia*, 10(3):20-30. ISSN 2176-0144. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v10i3.799>.