

## PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL PARA AVALIAÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO

**Antonia Fabiana Marques Almeida**  
**Haikel Buganem Busgaib Gonçalves**  
**Ataslina de Paula da Silva**  
**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**  
Universidade Federal do Ceará  
Departamento de Engenharia de Transportes

### RESUMO

O Índice de Gravidade Global (IGG) é o método de avaliação objetiva de rodovias federais com fatores de ponderação para defeitos de revestimentos em Concreto Asfáltico, mas comumente aplicado para qualquer tipo de revestimento flexível. Os Tratamentos Superficiais por Penetração (TSP) são uma opção de baixo custo para pequenos volumes de tráfego. Por não terem função estrutural, os TSP exigem atuação mais efetiva das camadas granulares, divergindo da funcionalidade dos revestimentos em Concreto Asfáltico. Assim, objetivou-se neste artigo propor uma adaptação do IGG denominado IGG<sub>TS</sub>, avaliando os principais defeitos de TSP com novos coeficientes de ponderação, capazes de melhor representar a sua gravidade. Para validação do método, utilizaram-se relatórios do Contrato de Restauração e Manutenção (CREMA) comparando o IGG ao IGG<sub>TS</sub>. Por correlação, concluiu-se que os métodos se diferem em aspectos consideráveis sendo o IGG<sub>TS</sub> mais abrangente.

### ABSTRACT

The Global Severity Index (GSI) is the objective evaluation method for federal highways with weighting factors for defects in asphalt concrete coatings but is commonly applied to any type of flexible coating. Asphalt Surface Treatments (AST) are a low-cost option for small volumes of traffic. Because they do not have a structural function, the AST require a more effective performance of the granular layers, diverging from the functionality of the Asphalt Concrete coatings. Thus, the objective of this article was to propose an adaptation of the GSI called GSI<sub>AST</sub>, evaluating the main AST defects with new weighting coefficients, capable of better representing its severity. For the method validation, reports of the Restoration and Maintenance Contract were used comparing the GSI to the GSI<sub>AST</sub>. By correlation, it was concluded that the methods differ in considerable aspects and the GSI<sub>AST</sub> is more embracing.

### 1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transportes corresponde a um conjunto de elementos direcionados ao deslocamento de pessoas e mercadorias. Tal mecanismo possui grande importância para o desenvolvimento econômico e social de qualquer nação, sendo responsável não só pelo escoamento de produtos diversos, como também pelo transporte e interligação de pessoas, de modo regular, seguro e confortável.

Para Smith *et al.* (1996), a suavidade do pavimento é considerada um dos mais importantes indicadores da qualidade de construção. CNT (2018), por sua vez, afirma que os defeitos presentes em pavimentos rodoviários impactam diretamente nos custos operacionais veiculares devido aos maiores gastos com combustíveis, pneus e manutenção dos veículos, além da elevação dos tempos de viagem, perda e dano de mercadorias, entre outros.

Dessa forma, necessita-se que as rodovias apresentem resistência e durabilidade. Dos tipos de revestimentos existentes, destaca-se o Tratamento Superficial por Penetração (TSP), que consiste em camada delgada de agregados em capa de ligante asfáltico. Os TSP são, geralmente, aplicados como camada de rolamento em pavimentos flexíveis para melhoria da aderência pneu/pavimento. Contudo, no Brasil, empregam-se os TSP como revestimento principal, apoiando-se diretamente sobre camadas granulares. Devido à relativa simplicidade de execução e ao baixo custo de construção, essa técnica é comumente utilizada em rodovias

de baixo volume de tráfego.

A dimensão da malha viária com uso de TSP é considerável no território nacional. Cerca de 60% das rodovias do estado do Ceará, por exemplo, apresentam este tipo de revestimento, sendo o estado que detém as piores rodovias da Região Nordeste do Brasil (CNT, 2018). Barroso (2019) destaca uma escassez nos parâmetros técnicos brasileiros em termos de projeto, execução e avaliação desse tipo de revestimento, o que se agrava, segundo Pierce e Kebede (2015), pelo comportamento dos TSP, que difere do que se observa nos revestimentos em Concreto Asfáltico, pavimento no qual foram estabelecidos os critérios de avaliação utilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Com base nesses aspectos, verifica-se a necessidade de desenvolver técnicas de avaliações funcionais específicas para pavimentos em TSP, baseando-se no principal método utilizado no País, o Índice de Gravidade Global (IGG) estabelecido por DNIT (2003b). Assim, o objetivo principal deste artigo é readequar alguns parâmetros adotados nessa técnica, para que se desenvolva um método de avaliação funcional objetiva mais representativo para as rodovias executadas em TSP.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os Tratamentos Superficiais por Penetração (TSP) consistem em uma modalidade de revestimento asfáltico produzido em campo. Tem como função garantir uma superfície durável, sem grande capacidade estrutural, mas com adequada funcionalidade. Geralmente, executa-se um TSP por uma fina camada, de espessura inferior a 1,0 polegada, voltada ao propósito de selar trincas em pavimentos já existentes. Essa utilização objetiva fornecer melhorias à qualidade de rolamento ao tráfego, protegendo a superfície contra o envelhecimento e oxidação (Kim e Lee, 2005).

Por sua vez, Larsen (1985) afirma que o TSP é um revestimento flexível de pequena espessura (de 5 mm a 20 mm), executado através do espalhamento e compactação de ligante betuminoso seguido do agregado, em uma, duas ou três camadas, denominado Tratamento Superficial Simples (TSS), Duplo (TSD) ou Triplo (TST). Devido à sequência de aplicação, o ligante penetra debaixo para cima, de forma invertida, porém, no caso de duas ou três camadas, a penetração ocorre de forma invertida e direta ao mesmo tempo (Pinto e Preussler, 2010).

Essa técnica costuma ser uma alternativa econômica e eficaz para rodovias de baixo volume de tráfego, porém, devido à pequena espessura, não é possível que se verifique função estrutural, tampouco que haja um combate contra a ação de defeitos (Silva, 2018). O TSP tem como funções: proporcionar camada de rolamento com elevada resistência ao desgaste; impermeabilizar as subcamadas do pavimento; conferir flexibilidade ao pavimento, no intuito de acompanhar as deformações da estrutura; aumentar a aderência pneu-pavimento; ser utilizado como primeira camada para vias de tráfego leve (ou a principal camada) (Silva, 2018).

### 2.1. Defeitos recorrentes nos TSP

Segundo Larsen (1985), os defeitos em pavimentação se manifestam conforme sua natureza, de várias maneiras e a diferentes idades de execução do revestimento, desde os primeiros dias até após vários anos de uso. No aparecimento de um determinado defeito nos TSP, nem

sempre é possível obter uma fácil identificação da causa de ocorrência, que pode ser, inclusive, uma somatória de causas ou reação em cadeia de causas e efeitos (Loiola, 2009).

Ainda de acordo com Loiola (2009), os defeitos mais críticos dos TSP são a perda de agregados e a exsudação. Kim e Lee (2005) apontam, como defeitos críticos, além dos citados pelo autor anterior, a desagregação longitudinal e falta de coesão entre camadas, principalmente quando o tratamento é aplicado com a finalidade de revestimento secundário (acima de uma camada de revestimento já existente).

Loiola (2009) analisou os defeitos que mais ocorrem em tratamentos superficiais no estado do Ceará, que utiliza TSP como camada principal de rolamento na maioria de suas rodovias pavimentadas, com atenção àqueles causados por falhas do revestimento. São eles:

- i. desagregação longitudinal (conhecida no meio prático como penteadura);
- ii. desagregação do revestimento;
- iii. rejeição excessiva de agregado;
- iv. exsudação;
- v. desgaste do agregado;
- vi. desgaste da borda;
- vii. superposição (encravamento);
- viii. juntas de construção defeituosas;
- ix. corrugações;
- x. rugosidade geométrica inadequada.

## 2.2. Índice de Gravidade Global

O Índice de Gravidade Global (IGG), no Brasil, é um método de avaliação objetiva realizado diretamente sobre a superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos para inventário e classificação, cuja terminologia dos defeitos é dada pelo DNIT (2003a).

É uma avaliação baseada em índices, que expressam o estado geral do pavimento em função da incidência de defeitos que caracterizam seu grau de degradação, resultante de um levantamento de superfície (Vieira *et al.*, 2016). Tal índice é constituído da soma dos Índices de Gravidades Individuais (IGI), que podem ser obtidos por meio do produto entre a frequência relativa ( $f_r$ ) de cada grupo de defeitos presente nos revestimentos e os seus respectivos fatores de ponderação ( $f_p$ ).

**Tabela 1:** Defeitos contemplados por DNIT (2003a) e fatores de ponderação ( $f_p$ ).

Tipo de ocorrência	Tipo de defeito	$f_p$
1	Fissuras e trincas isoladas	0,2
2	Trincas Jacaré e em bloco	0,5
3	Trincas Jacaré e bloco com erosão de borda	0,8
4	Afundamentos	0,9
5	Escorregamento, Ondulação e Panelas	1,0
6	Exsudação	0,5
7	Desgaste	0,3
8	Remendo	0,6

Além dos defeitos presentes na Tabela 1, são também contempladas pelo IGG as medidas de afundamento de trilha de roda, obtidas por uma treliça padronizada e régua milimétrica. O resultado do IGG pode ser classificado por meio de conceitos de degradação do pavimento, que varia de ótimo a péssimo, conforme descrito na Tabela 2, que, também, será utilizada para avaliar os dados obtidos do Índice de Gravidade Global dos Tratamentos Superficiais (IGG<sub>TS</sub>), proposto neste artigo.

**Tabela 2:** Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG (DNIT, 2003b).

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este artigo, foram consideradas as três etapas a seguir: i. obtenção dos dados de levantamentos de rodovias federais com TSP como camada de rolamento principal; ii. adaptação dos fatores de ponderação (IGG<sub>TS</sub>); e iii. aplicação do IGG<sub>TS</sub>, com respectiva comparação com os valores de IGG.

Obteve-se uma base de dados de IGG realizados em TSP, a partir de relatórios do Programa CREMA (Contrato de Restauração e Manutenção) (DNIT, 2015) que apresentam avaliações funcionais e estruturais de rodovias pelos estados brasileiros. No Ceará, destacam-se os pavimentos construídos com TSP, que nos relatórios constam como Tratamentos Superficiais Duplos (TSD). A partir desses, foram selecionados segmentos de rodovias em outros estados brasileiros que tem, na camada de rolamento principal, a solução de revestimento com TSP, com dupla camada (TSD), totalizando 174 segmentos.

A Tabela 3 apresenta uma descrição das sete vias que possuem TSD para análise, com identificação da rodovia, estado brasileiro dos segmentos considerados, a quantidade de segmentos com esse tipo de revestimento, o comprimento total ( $L_{seg}$ ), o Volume Médio Diário (VMD) e o número N, considerado para 3 anos.

**Tabela 3:** Dados dos segmentos das rodovias executadas com TSD.

Rodovia	Estado	Quantidade segmentos	$L_{seg}$ (km)	VMD (veic/dia)	N (3 anos)
BR-230	CE	7	7,2	1833	$8,7 \cdot 10^5$
BR-341	PI	45	78,1	2177	$1,3 \cdot 10^6$
BR-343	PI	30	60,3	1104	$6,5 \cdot 10^5$
BR-364	MT	47	104,6	2565	$4,8 \cdot 10^6$
BR-367	BA	15	42,0	4762	$1,3 \cdot 10^7$
BR-367	MG	19	56,0	4815	$2,5 \cdot 10^6$
BR-434	PB	11	20,2	265	$2,6 \cdot 10^5$
Total		174	368,4	-	-

Já a Tabela 4 apresenta um resumo dos dados dos segmentos da Rodovia BR-230 no Ceará, considerando as metodologias previstas nos procedimentos DNIT (2003b); DNIT (2003c) e DNER (1979), para fins de exemplo dos dados que foram analisados neste estudo, presentes

nos relatórios CREMA.

**Tabela 4:** Dados dos segmentos da Rodovia BR-230/CE executadas em TSD (DNIT, 2015).

Segmento		1	2	3	4	5	6	7
DADOS	L <sub>seg</sub> (km)	1,3	1,8	0,52	2,34	0,7	0,34	0,2
	Faixas	2	2	2	2	2	2	2
DNIT (2003b)	FC-2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	FC-3	0%	20%	20%	0%	0%	0%	0%
	(FC-2 + FC-3)	0%	20%	20%	0%	0%	0%	0%
	(ALP + ATP)	100%	100%	100%	90%	100%	100%	100%
	Ondulação	40%	100%	70%	50%	60%	70%	70%
	Panela	20%	30%	80%	30%	0%	20%	50%
	Remendo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Flecha (mm)	0	0	0	0	0	0	0
	IGG	190	252	242	191	200	210	230
	DNIT (2003c)	(FC-2 + FC-3)	A	M	B	B	B	B
Afundamento Plástico		A	M	M	M	M	-	M
Panelas		A	A	A	A	A	-	M
Remendos		-	-	-	M	-	-	-
IGGE		189	140	153	110	153	71	146
ICPF		3	3	2	2	3	2	3
IES		10	9	10	7	10	5	10
DNER (1979)	Df <sub>méd</sub> (10 <sup>-2</sup> mm)	101,2	94,2	71,5	72,4	93	112,7	106,5
	HR (cm) (3 anos)	1,5	0,5	0	0	0	3,5	2,5

Na Tabela 4 podem ser verificadas as informações dos defeitos coletados com base em DNIT (2003b), as trincas com abertura superior a 1,0 mm (FC-2 e FC-3), afundamentos locais plásticos (ALP) e de trilha (ATP), áreas com ondulação, panela e remendos, além das flechas (mm), com o valor do IGG calculado ao final. Por sua vez, em DNIT (2003c) estão apresentadas as frequências dos defeitos, sendo A, M e B as frequências alta, média e baixa, respectivamente, além dos cálculos dos índices: Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE), Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semirrígidos (ICPF) e Índice do Estado da Superfície do pavimento (IES).

Por fim, são apresentados os dados obtidos pela aplicação de DNIT (1979), referentes à avaliação da capacidade estrutural, ou seja, as deflexões médias dos segmentos e as espessuras de reforço, para um tempo de vida de 3 anos. Apesar de apresentados os dados provenientes da aplicação de três diferentes procedimentos, presentes nos relatórios CREMA, neste trabalho serão utilizadas somente as informações coletadas com o uso de DNIT (2003b).

De posse dos dados, foram realizadas três tentativas de reponderação dos defeitos presentes na Tabela 1 com o objetivo de comparar o valor final do IGG com o índice de gravidade global adaptado para tratamentos superficiais (IGG<sub>TS</sub>). Tais tentativas foram realizadas com base no IGG feito para pavimentos com revestimento em Concreto Asfáltico, porém levando

em consideração os defeitos e seus níveis de gravidade interpretados pelos trabalhos de Kim e Lee (2005) e Loiola (2009).

Para isso, o estabelecimento dos coeficientes de ponderação foi baseado na opinião de quatro diferentes avaliadores. O julgamento individual ocorreu de maneira isolada e isenta de influências entre os mesmos, visando estabelecer correlação entre o IGG e do IGG<sub>TS</sub> através das tentativas de reponderação capazes de gerar argumentos quanto aos aspectos conclusivos deste trabalho.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando os defeitos em TSP apresentados por Kim e Lee (2005) e Loiola (2009), tem-se os coeficientes de ponderação adaptados na Tabela 5 obtidos de quatro avaliadores, além das médias dos fatores propostos.

**Tabela 5:** Coeficientes de ponderação adaptados.

Defeito	Aval. 01	Aval. 02	Aval. 03	Aval. 04	Média	
Desagregação	Longitudinal (Penteaduras)	0,5	0,8	0,8	1,0	0,8
	Do revestimento	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Rejeição excessiva do agregado	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	
Exsudação	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Desgaste	Do agregado	0,5	0,5	0,8	0,8	0,7
	Da borda	0,8	0,7	1,0	0,7	0,8
Superposição ou encravamento	0,7	0,6	1,0	0,8	0,8	
Sobreposição de espargimento de ligante	0,2	0,3	0,4	0,8	0,4	
Corrugações	0,4	0,6	0,6	0,3	0,5	
Rugosidade geométrica inadequada	1,0	1,0	0,6	0,5	0,8	
Deformação Permanente	0,8	0,9	1,0	0,3	0,8	
Trincamento	0,5	0,5	1,0	0,3	0,6	

A avaliação dos parâmetros utilizados na ponderação foi realizada em paralelo aos conceitos utilizados no cálculo do IGG (DNIT 2003b). Dessa maneira, equiparou-se o defeito relativo à desagregação às fissuras e trincas em Concreto Asfáltico, pois essas comprometem a capacidade do revestimento em agir como camada impermeabilizante, permitindo o início de defeitos mais severos.

O parâmetro de exsudação é definido por Kim e Lee (2005) como um dos piores defeitos em TSP, e em termos práticos, tem implicações semelhantes às apresentadas pelo Concreto Asfáltico, cujos fatores de ponderação no IGG e no IGG<sub>TS</sub> se igualaram.

O desgaste do agregado e desgaste de borda, possui correlação ao IGG devido aos efeitos que condicionam o pavimento, implicando em comprometimento quanto à segurança do usuário, devido ao desgaste do agregado (aderência pneu-pavimento) e problemas de estabilidade do pavimento no desgaste da borda (aberturas para erosão de bordo).

Quando comparado com o IGG, o coeficiente do IGG<sub>TS</sub> para desgaste do agregado se compara ao desgaste superficial de Concretos Asfálticos, referentes não somente aos

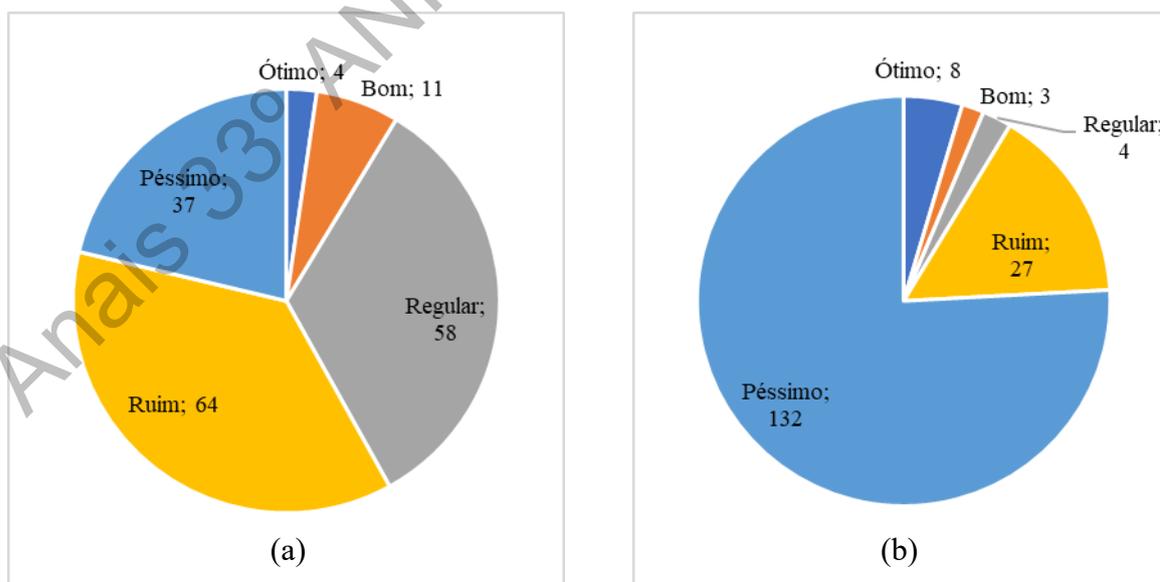
agregados, como também ao ligante asfáltico. Para essa situação, a mineralogia e polidez do agregado passam a ter menor influência sobre a aderência pneu-pavimento, tornando a propriedade de teor de ligante na dosagem e adesividade da mistura asfáltica mais relevantes. Por se referir a parâmetros mais específicos da fase de projeto, o DNIT (2003b) estabelece um fator de ponderação de 0,3 para pavimentos flexíveis, o que para TSP fora atribuída uma importância de 0,6.

Para o fator do defeito desgaste da borda, no  $IGG_{TS}$ , dada sua relevância para os TSP, atribuiu-se fator de ponderação de 0,8, semelhante ao raciocínio com trincas maiores de 1,0 mm com erosão de bordo (classificada por FC-3) do IGG, que leva em conta aplicações semelhantes. Para a superposição ou encravamento de agregados, como produto de um excesso de compactação sobre a integridade do revestimento (pela quebra do filme de ligante da interface com a camada de base), atribuiu-se o fator de 0,8 dada a gravidade de ocorrência deste defeito, que proporciona maior infiltração de umidade nas camadas granulares, o que o torna um fator agravante para problemas estruturais no pavimento.

Assim, com a reponderação, uma equação adaptada com os dados disponíveis nos relatórios CREMA foi desenvolvida, como pode ser verificado na expressão (1). Esta equação é apresentada contendo o cálculo das frequências relativas e os valores individuais do índice de gravidade.

$$IGG_{TS} = [0,6.(FC-2+FC-3)+0,8.(ALP+ATP)+0,5.O+1,0.P+0,8.R+0,8.F].100 \quad (1)$$

Foram calculados, assim, os valores de  $IGG_{TS}$  dos segmentos analisados. Com o conhecimento dos dados dos relatórios CREMA e os valores de IGG calculados com base em DNIT (2003b), pôde-se comparar os valores obtidos pela Equação (1). Em alguns casos, houve decréscimo dos valores do  $IGG_{TS}$ , e em outros, aumento. Algumas alterações não provocaram a alteração de faixa da condição do pavimento, outras, porém, apresentaram variação significativa. A Figura 1 apresenta os gráficos das condições obtidas pelo IGG (a) e pelo  $IGG_{TS}$  (b), expressos pelas quantidades de segmentos.



**Figura 1:** Condições dos segmentos obtidos do IGG (a) e do  $IGG_{TS}$  (b).

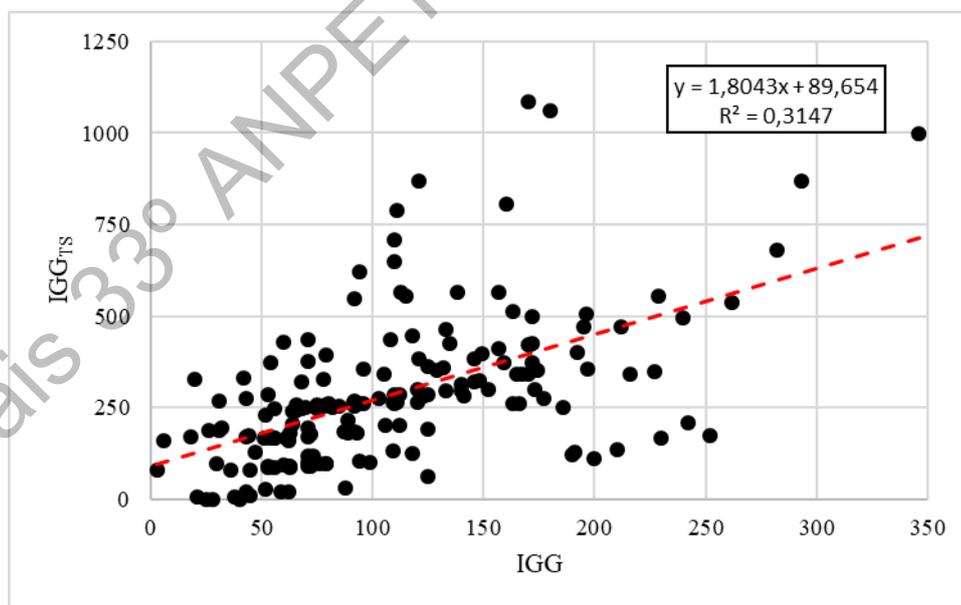
Pelos gráficos da Figura 1 pode-se observar que houve aumento na quantidade de segmentos com as condições ótimo e péssimo. Já para as demais condições, houve redução. Ou seja, a

avaliação de alguns segmentos alterou para melhor, em outras, para pior. Como mencionado anteriormente, todos os valores calculados para o  $IGG_{TS}$  diferem dos calculados de IGG. Em 37 segmentos, embora tenha ocorrido essa mudança, a condição funcional do trecho não foi alterada. Nas amostras em que houve alteração de condição funcional, 16 segmentos melhoraram e 121 pioraram.

Nos segmentos em que houve aumento, alguns tiveram incrementos consideráveis, como, por exemplo, o trecho 11 da BR-367 em Minas Gerais, que tinha um IGG de 170, e o  $IGG_{TS}$  foi de 1084, apresentando um acréscimo de cerca de 538%. Esse segmento foi o que apresentou a maior flecha, no valor de 12 mm. Nos demais trechos de valores de flecha elevados resultou em  $IGG_{TS}$  com elevados incrementos, como por exemplo o segmento 35 da BR-364 em Mato Grosso, que tinha IGG de 180 e passou a ter  $IGG_{TS}$  de 1060, com flecha de 11 mm.

Essas diferenças foram detectadas com os dados apresentados nos relatórios do programa CREMA. Porém, como o objetivo do cálculo do IGG desses documentos é identificar o estado de pavimentos flexíveis, independente de qual revestimento está presente, algumas informações importantes para os TSP não são coletadas. Com informações extras, como de exsudação e perda de agregados, os valores do  $IGG_{TS}$  poderiam ser diferentes dos apresentados neste trabalho.

Dadas as particularidades dos defeitos dos TSD em suas características, causas de ocorrência e principais implicações ao pavimento, interpreta-se que o IGG na forma que é utilizada pondera os defeitos de TSD de forma não coerente com a realidade. O gráfico da Figura 2 apresenta a correlação entre IGG e  $IGG_{TS}$ , na tentativa de verificar se o adaptado pode ser obtido do índice tradicional, ou vice-versa.



**Figura 2:** Gráfico de correlação obtido entre o IGG e o  $IGG_{TS}$ .

Observa-se que os diferentes índices de gravidade global possuem uma baixa correlação linear, com um valor de  $R^2$  (coeficiente de determinação) de 0,3047, distante do valor 1,0, que seria o ideal. Isso permite afirmar que valores obtidos pelo IGG possuem tendência a se localizar distantes daqueles determinados pelo  $IGG_{TS}$ , proposto considerando fatores

específicos para os defeitos em TSP.

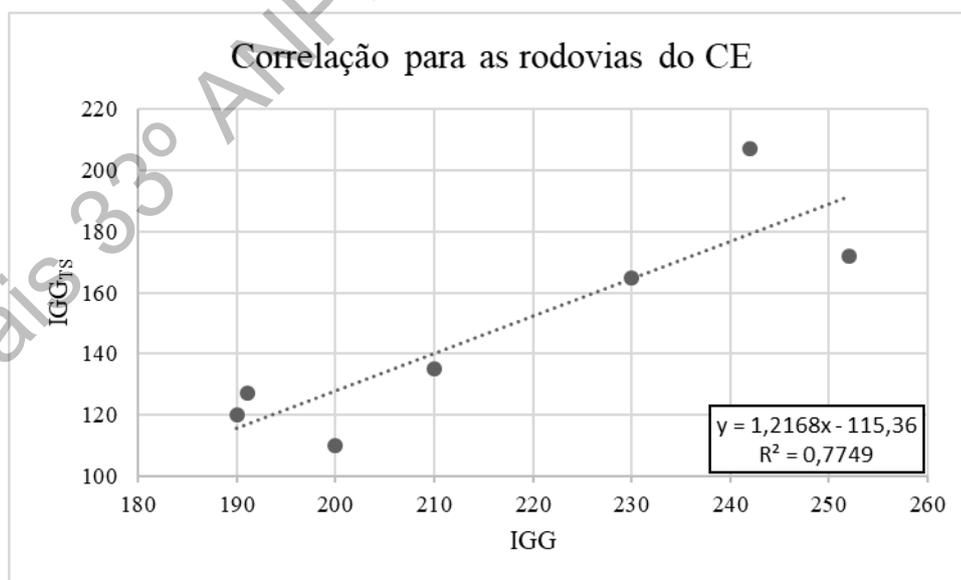
Como os defeitos analisados neste artigo são os apresentados por Loiola (2009), que levantou dados das rodovias somente no estado do Ceará, serão apresentados os dados das rodovias desse estado, já que podem existir especificidades quanto ao clima, tráfego e estrutura. A Tabela 6 apresenta os dados de IGG e IGG<sub>TS</sub> dos sete segmentos da rodovia federal do Ceará.

**Tabela 6:** IGG e IGG<sub>TS</sub> da Rodovia BR-230/CE

Rod./Trecho	L <sub>seg</sub> (km)	IGG	Condição IGG	IGG <sub>TS</sub>	Condição IGG <sub>TS</sub>
BR-230_CE_01	1,30	190	Péssimo	120	Ruim
BR-230_CE_02	1,80	252	Péssimo	172	Péssimo
BR-230_CE_03	0,52	242	Péssimo	207	Péssimo
BR-230_CE_04	2,34	191	Péssimo	127	Ruim
BR-230_CE_05	0,70	200	Péssimo	110	Ruim
BR-230_CE_06	0,34	210	Péssimo	135	Ruim
BR-230_CE_07	0,20	230	Péssimo	165	Péssimo

Como pode ser observado na Tabela 6, os valores calculados de IGG<sub>TS</sub> foram inferiores aos de IGG. Dentre os sete segmentos analisados, três se mantiveram com a mesma condição de avaliação, e quatro apresentaram alteração de classificação, de péssimo para ruim. Vale ressaltar que nenhum desses segmentos apresentou valores de flecha dos afundamentos de trilha de roda (ATR).

Para verificar a correlação entre os índices, foi realizada uma regressão linear para identificar se o coeficiente de determinação é satisfatório. O gráfico da Figura 3 apresenta os dados plotados com a linha de tendência e a equação obtida.



**Figura 3:** Gráfico de correlação obtido entre IGG e IGG<sub>TS</sub> para a BR-230/CE

O coeficiente de determinação de 0,7749 obtido para o caso da BR-230 no estado do Ceará foi consideravelmente superior ao obtido da Figura 2. Apesar de terem sido considerados

somente os segmentos da rodovia federal do Ceará disponibilizados, esse incremento do coeficiente de determinação pode ter ocorrido pelo fato de nenhum dos trechos ter apresentado flecha.

Assim, foram analisados os 19 segmentos dentre os disponíveis nos relatórios, sem flechas nas trilhas de roda, e obtido um  $R^2 = 0,964$ . A premissa é que a readequação do IGG para rodovias com TSP e com as informações dos relatórios do programa CREMA apenas seja considerada adequada quando o segmento não apresenta valores de flecha nas trilhas de roda.

## 5. CONCLUSÕES

As técnicas de avaliação de pavimentos rodoviários são muito importantes para determinar o estado geral de sua superfície. Com a elaboração de métodos mais específicos para cada tipo de revestimento, obtém-se mais acurácia nos resultados das avaliações, que podem representar uma redução nos custos referentes à manutenção e reabilitação da rodovia.

Concluiu-se com este trabalho que a maioria dos defeitos contemplados pelo TSP não são abordados no método do IGG tradicional, pois sua forma de manifestação na superfície difere da observada em revestimentos em Concreto Asfáltico, tornando a avaliação do IGG não adequada para aplicação em revestimentos delgados.

Com base nos dados obtidos neste artigo a partir dos relatórios do programa CREMA do DNIT e na proposição dos coeficientes de ponderação do IGG, observa-se uma redução nos valores estabelecidos para  $IGG_{TS}$ , quando feita análise comparativa. Essa constatação poderia proporcionar aos gestores rodoviários tomadas de decisão mais viáveis do ponto de vista técnico e econômico. A diferença entre os valores dos índices apresentados também reforça a ideia de que existe uma relevância no ato de reponderar, acrescentar e associar os defeitos apresentados, especificamente para revestimentos delgados como os TSP.

A equação de correlação apresentada neste artigo, considerando os dados dos 174 segmentos, demonstra que somente 30,47% dos dados de  $IGG_{TS}$  podem ser explicados pelo IGG. Além disso, a equação apresentada pode ser utilizada como uma forma de obtenção dos valores de  $IGG_{TS}$  por meio do IGG convencional, porém, com baixa precisão.

Ao considerar somente os segmentos do estado do Ceará, local onde foram avaliados os defeitos utilizados, tem-se que 77,49% dos dados de  $IGG_{TS}$  podem ser obtidos do IGG. Como a premissa das flechas nos afundamentos das trilhas de roda foi levantada, o  $IGG_{TS}$  obtido do IGG apresentou o maior coeficiente de determinação obtido nas análises realizadas neste artigo.

Como os coeficientes de ponderação expressos neste trabalho foram obtidos com base em dados empíricos e nas experiências próprias dos autores, ressalta-se a importância de estudos complementares, que busquem uma maior representatividade a cada defeito contemplado pelos TSP, a fim de implementar reajustes que se julguem necessários quanto à calibração do método a diferentes dados de campo.

Dessa forma, ampliando-se a base de dados para relatórios de avaliação em segmentos diversos e coletando-se observações de profissionais gestores de rodovias em revestimentos delgados, acredita-se na potencialidade do novo método aqui proposto para o fornecimento de

economia e eficiência em manutenção e reabilitação de TSP.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barroso, S.H.A. (2019). Notas de Aula - Disciplinas: Pavimentos Alternativos e Pavimentos Delgados. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- CNT (2018). Pesquisa CNT de Rodovias 2018 – Relatório Gerencial. SEST/SENAT. Confederação Nacional do Transporte. Brasília.
- DNER (1979). Norma DNER 011/79-PRO. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- DNIT (2003a). Norma 005/2003-TER - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2003b). Norma 006/2003-PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2003c). Norma 008/2003-PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. (2015). Projeto Programa CREMA. Rodovia BR-230/CE, Volume Único. Coordenação Geral de Manutenção e Restauração Rodoviária. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- Kim, Y.R.; Lee, J. (2005). Optimizing Gradations for Surface Treatments. Final Report to North Carolina Department of Transportation. NCSU, North Carolina.
- Larsen, J. (1985). Tratamento Superficial na Conservação e Construção de Rodovias. Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (ABEDA). Rio de Janeiro.
- Loiola, P.R.R. (2009). Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em tratamentos superficiais de rodovias. 231p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Pierce, L.M.; Kebede, N. (2015). Chip Seal Performance Measures–Best Practices. No. WA-RD 841.1. Washington State Department of Transportation, Olympia, WA.
- Pinto, S.; Preussler, E.S. (2010). Pavimentação Rodoviária – Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Editora: IBP Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2ª edição.
- Silva, R.C. (2018). Avaliação da dosagem dos tratamentos superficiais por penetração de rodovias baseada na exsudação e na perda de agregados. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Smith, K.L.; Smith, K.D.; Evans, L.D.; Hoerner, T.E.; Darter, M. (1996). Smoothness specifications for pavements. Final Rep. to National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) 1-31, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Vieira, S.A.; Pinho Jr, 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. Revista Conexões, Ciência e Tecnologia. 10, n. 3, 20-30pp. DOI: doi.org/10.21439/conexoes.v10i3.799.

---

Antonia Fabiana Marques Almeida (fabiana@det.ufc.br)  
Haikel Baganem Busgaib Gonçalves (haikelbusgaib@gmail.com)  
Ataslina de Paula da Silva (engenharia.ataslina@hotmail.com)  
Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)  
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici - Bloco 703 – Fortaleza, CE, Brasil