



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

PROPOSTAS DE MELHORIAS PARA REMUNERAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DE TRÁFEGO EM OBRAS RODOVIÁRIAS

Pedro Igor de Araújo Rêgo¹; Sandra Patricia Echeverria Fernandez¹; Renan Abreu de Moura² & Caio Saravy Cardoso²

RESUMO

Este artigo examina a metodologia do Fator de Interferência de Tráfego (FIT) do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), propondo melhorias e soluções para questões sobre os parâmetros utilizados, como os percentuais e limites adotados, a consideração da quantidade de faixas de rolamento na definição do Volume Médio Diário (VMD), entre outros aspectos. O estudo também utiliza dados do software VISSIM para simulação de tráfego, destacando a relevância da criação de modelos de simulação para representar diferentes situações de projeto, utilizando uma abordagem de simulação microscópica para entender o comportamento do tráfego em rodovias pavimentadas a partir de diferentes volumes de tráfego e interferências de serviços executados ao longo de trechos rodoviários. A influência urbana é analisada por meio do sistema de informação geográfica (GIS), sendo o software QGIS utilizado para o gerenciamento de dados geoespaciais. Com base nisso, os resultados destacam a identificação de três tipos de atrasos, que ao serem incluídos ao FIT ampliam sua fundamentação teórica. Propõe-se uma atualização na metodologia com a inclusão de valores específicos e uma nova estrutura das Composições de Custos Unitários (CCUs) do SICRO. Conclui-se que, embora a metodologia antiga não seja falha, cabe a inclusão de parâmetros mais bem fundamentados. Com os parâmetros propostos, espera-se uma remuneração mais justa e precisa da interferência de tráfego em obras rodoviárias, melhorando a avaliação dos custos associados a esse aspecto crucial da construção de rodovias.

PALAVRAS-CHAVE: interferência de tráfego rodoviário; Simulação de tráfego; avaliação de custos; SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras).

ABSTRACT

This article examines the methodology of the Traffic Interference Factor (FIT) within the Reference Cost System for Construction Works (SICRO), proposing improvements and solutions to issues regarding the parameters used, such as the adopted percentages and limits, the consideration of the number of lanes in defining the Average Daily Volume (VMD), among other aspects. The study also utilizes data from the VISSIM software for traffic simulation, highlighting the relevance of creating simulation models to represent different project situations, using a microscopic simulation approach to understand traffic behavior on paved highways based on different traffic volumes and the interferences of services performed along highway sections. Urban influence is analyzed through the Geographic Information System (GIS), with the QGIS software being used for geospatial data management. Based on this, the results highlight the identification of three types of delays, which, when included in the FIT, broaden its theoretical foundation. An update to the methodology is proposed with the inclusion of specific values and a new structure for SICRO's Unit Cost Compositions (CCUs). It is concluded that, although the old methodology is not flawed, the inclusion of better-founded parameters is warranted. With the proposed parameters, a fairer and more accurate remuneration of traffic interference in roadworks is expected, improving the evaluation of costs associated with this crucial aspect of highway construction.

KEY WORDS: Road traffic interference; Traffic simulation; cost evaluation; SICRO (Referential Cost System for Works).

¹ Fundação Getulio Vargas - Instituto Brasileiro de Economia, pedro.rego@fgv.br; sandra.fernandez@fgv.br

² Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, renan.moura@dnit.gov.br; caio.cardoso@dnit.gov.br



INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, a remuneração da interferência de tráfego em obras rodoviárias é aplicada por meio da metodologia do Fator de Interferência de Tráfego – FIT do Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO. Desde a implantação do FIT em meados de 2017, o SICRO introduziu uma abordagem inovadora para a engenharia de custos brasileira. Especificamente, desenvolveu-se uma metodologia para que os orçamentos referenciais contemplassem o impacto financeiro das interferências de tráfego.

No entanto, além da busca constante por melhorias no sistema, alguns aspectos específicos podem ser refinados. Isso inclui os percentuais e limites adotados, a consideração da quantidade de faixas de rolamento na definição do Volume Médio Diário (VMD) e a definição de centros urbanos para a utilização de percentuais referentes à localização de serviços em trechos urbanos, entre outros pontos. Esses aspectos evidenciam a necessidade de aprimoramentos adicionais.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar propostas de melhorias para atualização da metodologia do FIT com parâmetros mais abrangentes. Para elaboração das propostas de melhorias, foram realizadas coletas de dados de campo, para reavaliação da forma com que o tráfego interfere na execução das obras; foi utilizado software para simulação de tráfego, em que foram simuladas diferentes condições de contorno para avaliação do impacto da velocidade de tráfego com diferentes valores de VMD por faixa; e foram analisados traçados das rodovias federais, para cálculo das velocidades de tráfego em áreas urbanas.

Ao propor melhorias tangíveis e fundamentadas, este trabalho contribui significativamente para o aprimoramento contínuo da engenharia de custos no Brasil, promovendo uma gestão mais eficiente e transparente dos recursos destinados às obras rodoviárias. Consequentemente, contribui para o desenvolvimento científico nacional, além de fomentar discussões sobre o tema.

A implementação dessas propostas de melhorias visa otimizar a precisão e a equidade na remuneração dos impactos do tráfego durante a construção de rodovias. Ao revisar e aprimorar a metodologia do FIT, espera-se alcançar uma maior precisão nos custos associados às interferências de tráfego, proporcionando uma compensação adequada e transparente para as obras rodoviárias, resultando em uma melhor alocação dos recursos públicos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Bibliografia internacional acerca da interferência de tráfego em obras de engenharia

A revisão bibliográfica internacional se iniciou com um levantamento bibliométrico acerca da interferência de tráfego em obras de engenharia, por meio da plataforma Web of Science. Procedeu-se com definição das palavras-chaves (strings) de busca por termos em língua inglesa, a fim de ampliar os resultados obtidos. Cabe destacar que as palavras-chaves utilizam operadores booleanos “OR” (i.e., “ou”) e “AND” (i.e., “e”) a fim de estabelecer conexões entre as palavras desejadas (Piña, 2021). As palavras-chaves definidas foram:

- TITLE-ABS-KEY (highway AND construction AND productivity AND OR management OR factor of traffic OR accidents).

A partir dessa busca, até a presente data foram identificados um número restrito de publicações acerca do tema. De modo geral, o levantamento identificou 11 referências, conforme apresentado na tabela 1.



Tabela 1. Levantamento bibliométrico

| Artigo | Autor | Ano de publicação |
|---|---------------------------|-------------------|
| <i>Impact of Construction Work Zone on Urban Traffic Environment</i> | Vyas e Varia | 2023 |
| <i>New Construction Cost Indices to Improve Highway Management</i> | Wong e Swei | 2021 |
| <i>Statistical analysis of construction productivity for highway pavement operations</i> | Choi e Ryu | 2015 |
| <i>Improving Predictability of Construction Project Outcomes through Intentional Management of Indirect Construction Costs</i> | Becker <i>et al.</i> | 2014 |
| <i>New classification of construction companies: overhead costs aspect</i> | Apanaviciene e Daugeliene | 2011 |
| <i>Quantifying the effects of interference for an alternative method of construction productivity estimation</i> | Choi | 2011 |
| <i>Measuring project level productivity on transportation projects</i> | Ellis e Lee | 2006 |
| <i>Interaction between population in a road section area and AADT. AADT forecasting using area population and traffic research data form neighbouring road sections</i> | Sliupas <i>et al.</i> | 2006 |
| <i>Integrated design/construction/operations analysis for fast-track urban freeway reconstruction</i> | Lee <i>et al.</i> | 2005 |
| <i>The effects of traffic flow rates at freeway work zones on asphalt pavement construction productivity</i> | Jiang | 2003 |
| <i>Construction productivity analysis for asphalt concrete pavement rehabilitation in urban corridors</i> | Lee <i>et al.</i> | 2002 |

No que tange ao tráfego, Vyas e Varia (2023) discorrem que, em virtude do acelerado aumento populacional e da subsequente demanda por desenvolvimento, expansão e revitalização das vias, as intervenções nas seções rodoviárias ocorrem com frequência. Entretanto, tais ações também se configuram como áreas sensíveis para o fluxo de trânsito na malha viária.

De acordo com o estudo “Impact of Construction Work Zone on Urban Traffic Environment” (Ibidem), tais intervenções, principalmente em áreas urbanas, levam a muitos problemas, como a diminuição da capacidade viária, o aumento dos atrasos no tempo de deslocamento, o alongamento das filas de veículos, o incremento de cruzamentos forçados e ocorrências de acidentes rodoviários. As zonas de construções são um dos principais fatores que contribuem para o congestionamento do tráfego, atrasos e acidentes sofridos pelos usuários das vias (Ibidem).

Outrossim, é importante ressaltar que os elementos mencionados anteriormente exercem uma influência significativa na dinâmica das equipes de trabalho e no transporte dos materiais essenciais para a execução dos serviços. Portanto, a eficiência do deslocamento desses materiais ao local da obra ou ao canteiro de construção desempenha um papel crucial, impactando diretamente na capacidade de produção diária (Bakri; Razak; Abd Shukor, 2021).

Nos Estados Unidos, a Federal Highway Administration – FHWA (2023) publicou que os acidentes na zona de construção ocorridos entre os anos de 2019 e 2021 estão super-representados nas áreas urbanas, dada a densidade populacional. Já nas rodovias, esse contexto representa quase 24% dos atrasos não recorrentes e 10% dos atrasos gerais.

No Brasil, a Empresa de Planejamento e Logística – EPL conduziu uma análise semelhante para o trecho rodoviário BR-101/SC, durante o período de 2014 a 2018, compreendendo os quilômetros 244+680 a 465+100 (EPL, 2019). Nesse contexto, foi observado que a maioria dos acidentes, especialmente em 2014, estava relacionada às obras em andamento. Além disso, constatou-se que os fatores que contribuíram para os acidentes desapareceram após a conclusão das obras.



De acordo com DNIT (2017), durante a execução de obras em rodovias já existentes, o volume de tráfego é um fator reconhecido de redução de produção dos serviços. As restrições ao tráfego se acentuam e se mostram particularmente relevantes quando se trata de obras mais próximas aos perímetros urbanos.

Os demais autores consultados, Wong e Swei (2021), Apanavičienė e Daugėlienė (2011), Becker et al. (2014), Choi e Ryu (2015), Choi (2011), Ellis e Lee (2006), Jiang (2003), Sliupas et al. (2006), Lee et al. (2005) e Lee et al. (2002) corroboram para esse entendimento de que as obras de engenharia sofrem os impactos decorrentes do tráfego, sejam eles de modo direto ou indireto, no entanto, não apresentam formas de quantificar o impacto financeiro para aplicação em orçamentos.

Conceitos viários

O Volume Médio Diário – VMD é a média do volume de veículos que circulam durante 24 horas em um trecho da via. Esse volume representa, de forma otimizada, a utilização ou o serviço prestado na via, sendo aplicado aos cálculos de índices de uso, como taxas de acidentes e receitas de postos de pedágio, assim como auxilia no planejamento de benefícios e investimentos (DNIT, 2006).

Os volumes médios dizem respeito a um período representativo, expressos em veículos por dia (i.e., vpd), que podem ser referentes aos seguintes intervalos de tempo (Ibidem):

- volume médio diário anual – VMDa: total de veículos que trafegam em um ano dividido por 365 dias;
- volume médio diário mensal – VMDm: total de veículos que trafegam em determinado mês dividido pelo número de dias do mês. Normalmente se faz acompanhado do nome do respectivo mês;
- volume médio diário semanal – VMDs: total de veículos trafegando em uma semana dividido por sete dias. Deve constar o nome do mês a que se refere;
- volume médio diário em um dia de semana – VMDd: total de veículos que trafegam em um dia de semana. É aconselhável que se refira ao dia da semana e ao mês.

As variações do conceito de VMD anual geralmente correspondem a amostras obtidas, para posterior ajuste e expansão para determinação do volume médio diário anual, que é o de maior importância (Ibidem). Os dados de VMD podem ser obtidos por contagens ininterruptas, ou contagens periódicas de cobertura nos quais são coletados dados durante horas, dias, uma semana ou até um mês. Após coleta, os dados são submetidos a correções por fatores de modo a refletir de forma mais precisa o tráfego sob análise, bem como a extrapolações de valores para os meses em que não foram feitas coletas (Riqueti, 2019).

Empiricamente, o tráfego de veículos varia de acordo com o dia da semana e o mês do ano, visto que as demandas pelas vias variam também, seja devido a questões econômicas, políticas e/ou sociais. Por exemplo, os meses de agosto e dezembro são considerados de alta temporada devido às férias escolares. Os finais de semana, por sua vez, possuem demanda diferente do resto da semana devido à mudança no fluxo de trabalhadores para as grandes cidades. A metodologia de coleta e tratamento de dados do VMD já considera tais variações, sendo usual a sua apresentação em orçamentos rodoviários.

Conceitos de custos

Conforme descrito no Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes - Volume 01 - Metodologias e Conceitos (DNIT, 2017), uma composição de custos trata-se de uma ferramenta que possibilita a determinação qualitativa e quantitativa dos recursos necessários para a realização de um determinado serviço de infraestrutura de transportes.



A soma das quantidades e dos consumos de diversos insumos (i.e., mão de obra, equipamentos, materiais, atividades auxiliares e transporte), ponderados pelos seus custos unitários e acrescidos da parcela de bonificação e despesas indiretas, culmina no preço final do serviço.

As composições de custos podem ser divididas em três tipos, a saber:

- composição de custos horária;
- composição de custos unitária;
- composição de custos mista horária/unitária.

A composição de custos horária discrimina os custos associados a uma hora de serviço a partir das informações necessárias para a realização de uma atividade em um período específico, normalmente uma hora. Esse tipo de composição, conforme DNIT (2017), é particularmente adequada para modelar serviços que seguem ciclos e envolvem a coordenação de patrulhas com diferentes equipamentos. Por essa razão, é a abordagem mais comum e recomendada para a elaboração de orçamentos em projetos de infraestrutura de transportes.

As composições de custos unitárias detalham o custo por unidade de serviço, incluindo elementos necessários para a execução de uma unidade específica dessa atividade. Em resumo, ela representa a relação entre os insumos e seus custos e consumos associados à produção de uma unidade de serviço determinada (DNIT, 2017).

Em relação à composição de custos mista horária/unitária, este procedimento combina elementos tanto do formato horário quanto do formato unitário.

No contexto do SICRO, mais precisamente, os componentes relativos a equipamentos e mão de obra são estabelecidos em termos horários, enquanto os componentes relacionados a materiais, serviços auxiliares e transporte são determinados com base no custo unitário (DNIT, 2017).

Na parcela horária do SICRO, os tempos de ciclo utilizados para calcular a produção horária são referentes a uma produção nominal, dessa forma, é necessária a utilização de um Fator de Eficiência (Fe), que consiste na relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal.

A produção efetiva inclui tempos de tolerância inerentes à execução dos serviços. Em relação aos tempos de tolerância, Mattos (2019) traz como exemplos os deslocamentos da máquina de uma posição de trabalho para outra, pequenos reparos de campo, remoção de obstáculos, espera por outros equipamentos, más condições meteorológicas, pausa para lubrificação, descanso do operador, interrupções para receber instruções, entre outros aspectos. Por conseguinte, extrai-se o entendimento de que o equipamento não trabalha integralmente ao longo dos 60 minutos de uma hora.

De acordo com Barnes (1977), o tempo de tolerância remunera interrupções que podem ser classificadas conforme:

- tolerância pessoal: tempo para necessidades pessoais, variando entre 2,0% e 5,0% (10 a 24 minutos) do dia, podendo chegar a mais que 5,0% em condições desfavoráveis;
- tolerância para a fadiga: tempo para descanso, em média 6,25% (30 minutos) do dia;
- tolerância de espera: tempos de esperas para ajustamentos ligeiros, alinhamento de equipe, quebra de ferramentas como brocas, tempo perdido devido a variação ocasional no material e orientações pelos supervisores. Pode representar de 5,4% (26 minutos) a mais de 50,0% (4 horas) dependendo das condições de contorno do serviço.

Segundo Peinado e Graeml (2007), na prática observa-se uma tolerância entre 15% e 20% do tempo para trabalhos normais, em condições de ambiente normais. Pinto (2016) apresenta que, de forma geral, adota-se a tolerância para fadiga entre 10% e 15%.

Para remunerar os tempos de tolerância, diversos autores citam a utilização de um Fator de Eficiência (Fe), que minora a produção horária de um serviço. Por exemplo, de acordo com Mattos (2019), para



efeito de estimativa de custos, o orçamentista pode admitir uma hora de 45 ou 50 minutos, o que representa, respectivamente, fator de eficiência de 75% ou 83%.

De maneira geral, no âmbito da modelagem de custos, o tempo de ciclo das composições de custos unitários (CCUs) é um tempo normalizado de acordo com o ritmo do serviço, remunerando apenas o tempo efetivo de trabalho. Dessa forma, para remunerar o tempo de tolerância, faz-se necessária a aplicação do fator de eficiência.

Nesse ínterim, o Manual de Metodologias e Conceitos do SICRO (DNIT, 2017) traz, a respeito do fator de eficiência, que, no SICRO 2, as CCUs eram diferenciadas pela natureza das obras, o que resultava na aplicação dos seguintes fatores de eficiência:

- construção rodoviária: eficiência de 50 minutos para cada 60 minutos, resultando no valor de 0,83;
- restauração rodoviária: eficiência de 45 minutos para cada 60 minutos, resultando no valor de 0,75;
- conservação rodoviária: eficiência de 40 minutos a cada 60 minutos, resultando no valor de 0,67.

Ainda de acordo com o mesmo Manual (DNIT, 2017), atualmente o SICRO utiliza o fator de eficiência no valor de 0,83 tanto para construção quanto para restauração rodoviária, ocorrendo a diferenciação dos serviços apenas por meio da aplicação do Fator de Interferência de Tráfego, que majora o custo de execução do serviço em função do volume de tráfego local. De forma similar, para os serviços de conservação rodoviária, define-se um fator de eficiência de 0,75, que também pode contar com ajustes por meio de aplicação do FIT.

Como exceção aos casos supracitados, a título de exemplo, atualmente, no SICRO, o serviço de fresagem descontínua apresenta um fator de eficiência equivalente a 0,41. Isso indica que, motivado pelas particularidades desse serviço, em um turno de 8 (oito) horas, a equipe que o executa atua de forma produtiva em apenas 3,28 horas.

De modo sintético, no SICRO, o fator de eficiência pode variar entre os valores de 0,41 a 0,83. O maior valor, de 0,83, representa um tempo produtivo de 50 minutos a cada 60 minutos, ou seja, a cada 1 (uma) hora. Considerando um turno de 8 (oito) horas, este fator de eficiência representa aproximadamente 80 minutos de tempos de tolerância, que, de acordo com as classificações e proporções de interrupções supracitadas, pode ser associado a 24 minutos de tolerância pessoal (i.e., 5,0% do turno diário), 30 minutos de tolerância para fadiga (i.e., 6,25%) e 26 minutos de tolerância para espera (i.e., 5,4%). Apesar de dependentes de diversos fatores, entende-se que estas parcelas se mostram coerentes no contexto em que a maioria dos serviços SICRO se inserem.

Para melhor entendimento dos tipos de tempos de tolerância e como estes impactam na determinação do fator de eficiência, segue, na figura 1, um exemplo de tempos de tolerância para utilização do Fator de Eficiência (Fe) de 0,83.

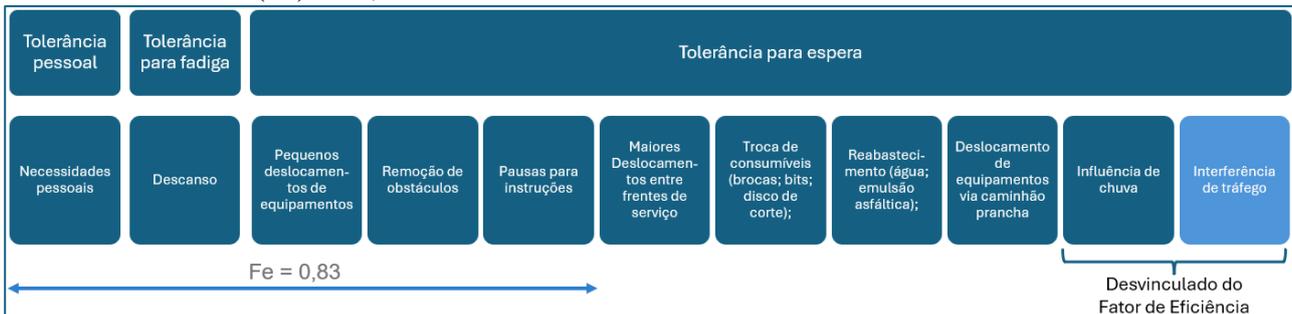


Figura 1. Tipos de tempos de tolerância



Conforme consta na figura 1, a interferência de tráfego é um tempo de tolerância que deve ser remunerado, porém, devido à sua particularidade, cujo tempo varia de acordo com as condições de contorno, não é possível determinar um valor fixo para incluí-lo dentro do fator de eficiência, sendo necessário, da mesma forma que aplicado com a influência de chuvas, a criação de um fator específico.

Anteriormente, na metodologia do Sicro 2, o tempo de interferência do tráfego estava sendo considerado de modo integrado ao fator de eficiência para obras de restauração e de conservação. Atualmente, no SICRO, a interferência de tráfego foi retirada do fator de eficiência, o que possibilitou que a interferência do tráfego seja medida de acordo com a situação de cada projeto.

Em resumo, os tempos de tolerância referentes a influência de chuva e interferência de tráfego possuem fatores específicos, de acordo com as condições de contorno da obra, e, por essa razão, acompanham metodologia própria.

Metodologia atual

O Fator de Interferência do Tráfego – FIT foi criado para remunerar a perda de produtividade dos serviços que são executados sob influência do tráfego de veículos. Obras de duplicação, restauração, conservação de vias, construção de terceira faixa, melhoramentos de infraestrutura de transportes, ou seja, aquelas desenvolvidas em paralelo às estruturas concluídas e em presente funcionamento, são obras que sofrem forte influência do tráfego de veículos em suas proximidades, pois é necessário interditar a pista ou colocar em execução medidas de segurança para a prevenção de acidentes (DNIT, 2017).

Vale mencionar que uma das premissas de aplicação do FIT é de que as medidas de segurança referentes à sinalização temporária de obras para prevenção de acidentes são remuneradas por suas composições de custos reunidas no Grupo 52 do SICRO, o grupo de serviços de sinalização.

Atualmente, o FIT incide apenas sobre o custo de mão de obra e equipamentos, ou seja, sobre o custo horário dos serviços, e, conseqüentemente, não incide sobre os materiais e atividades auxiliares. Ainda, o FIT é calculado por duas parcelas: o Volume Médio Diário de Tráfego e a Proximidade dos Centros Urbanos.

Em relação à proximidade de centros urbanos, que pode causar a redução da produção de serviços por conta de congestionamentos, necessidade de cautela ao dividir espaço com pedestres, bicicletas e motocicletas, vandalismos e roubos, entre outros, a metodologia adota um percentual de 5,0%.

Em relação ao Volume Médio Diário – VMD, que é o número de veículos que trafegaram numa determinada seção de uma rodovia no período de 24 horas, a metodologia adota percentuais diferentes de acordo com o valor do VMD. Tal parâmetro define a demanda de uma via para elaboração de respectivos projetos e permite o planejamento de melhorias básicas. Conforme publicado:

- para VMD abaixo de 2.000 veículos, o FIT é de 0%;
- para um VMD acima de 11.000 veículos, o FIT é de 15%; e
- para um VMD entre 2.000 e 11.000 veículos, aplica-se a seguinte fórmula:

$$\text{FIT} = \left[\frac{(\text{VMD} - 2.000)}{600} \right] \% \quad (1)$$

A figura 2 demonstra a variação do valor do FIT de acordo com o VMD.

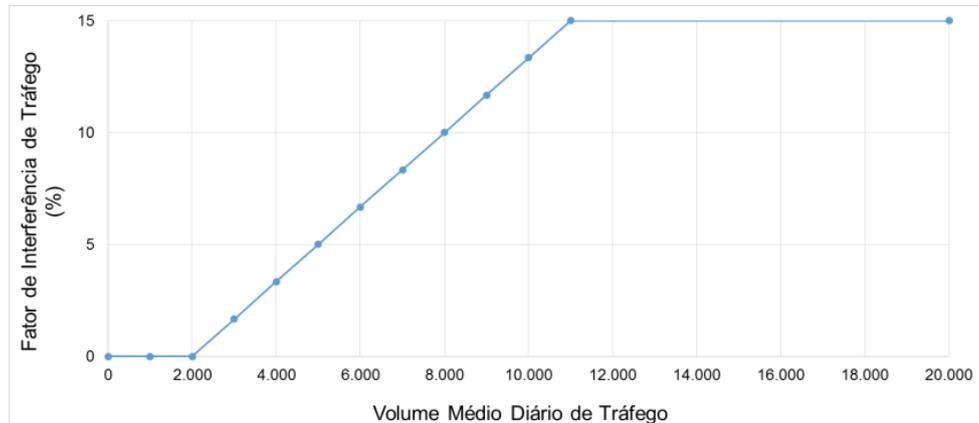


Figura 2 - Modelo matemático para cálculo do FIT. (DNIT, 2017)

Segundo DNIT (2017), tais porcentagens constam nos estudos realizados pelo Centro de Excelência em Engenharia de Transportes – CENTRAN.

Em caso de ocorrência concomitante de segmentos com elevado volume médio diário de tráfego, associado à proximidade de centros urbanos, o SICRO admite a aplicação no orçamento de um Fator de Interferência de Tráfego de até 20%.

MÉTODO

Além da revisão bibliográfica, também foram realizadas coletas de dados de campo, implicando na constatação de que em obras bem-sinalizadas, neste caso se referindo à sinalização de obras, não há interferência direta do tráfego nos serviços executados dentro do pano sinalizado. Dessa forma, a aplicação do FIT deve incidir apenas sobre a parcela de momento de transporte das composições de custos unitários do SICRO. Ou seja, a aplicação do FIT ocorre apenas no transporte de insumos, excluindo-se a parte de tempo fixo, uma vez que as atividades de carga, manobra e descarga ocorrem dentro da área sinalizada da obra, nos pátios dos fornecedores e/ou no canteiro de obras.

Para simulação das velocidades de tráfego com interferências que ocasionam redução da velocidade média, utiliza-se softwares de sistema de informação geográfica e de engenharia de tráfego.

O software VISSIM, desenvolvido pela empresa Planung Transport Verkehr – PTV, é um microssimulador altamente sofisticado que oferece uma capacidade de simular o tráfego de pedestres e veículos, além de fornecer uma variedade de opções para analisar diferentes modos de transporte, interseções e redes viárias.

A simulação de tráfego desempenha um papel fundamental na tomada de decisões relacionadas ao planejamento de infraestrutura, otimização do tráfego em tempo real, segurança rodoviária, previsão de demanda e avaliação de impactos de projetos de transporte, entre outros.

Segundo Portugal (2005), esses modelos permitem a incorporação da variabilidade da demanda, sendo usados para validar expressões analíticas e representar situações complexas. Embora a criação de um modelo de simulação demande esforço inicial, ele permite representar diversas situações de projeto de forma rápida e econômica, especialmente no contexto do tráfego.

Conforme definido pela Federal Highway Administration – FHWA (2004), os modelos de simulação de tráfego podem ser categorizados em três diferentes abordagens, a saber:

- macroscópica: refere-se ao comportamento de grandes grupos de veículos, considerando variáveis como densidade, velocidade média e fluxo, sendo apropriada para planejamento de redes de transporte em larga escala;
- mesoscópica: situa-se entre a macroscópica e a microscópica, abordando grupos menores de veículos ou subáreas da rede de transporte, sendo utilizada em estudos de sistemas de transporte em nível intermediário;
- microscópica: lida com veículos individuais, considerando detalhes como o comportamento dos motoristas, interações entre veículos e as condições da estrada em tempo real, sendo amplamente empregada em análises de engenharia de tráfego, simulações de cenários específicos e avaliações de segurança rodoviária.

De acordo com Portugal (2005), na simulação é comum utilizar sequências de números pseudoaleatórios, que são gerados seguindo regras predefinidas, de forma que possam ser reproduzidos. Existem diversas técnicas para criação dessas sequências. No entanto, é necessária a realização de testes estatísticos visando estabelecer um grau de aleatoriedade satisfatório para a aplicação destes valores.

Foi utilizada uma abordagem de simulação microscópica para entender o comportamento do tráfego em rodovias pavimentadas a partir de diferentes volumes de tráfego e interferências de serviços executados ao longo de trechos rodoviários. Essa escolha se deve à necessidade de uma análise com maiores detalhes das interações individuais dos veículos em cenários realistas, considerando sua dinâmica, reações aos obstáculos e às condições da estrada.

Através da realização de microssimulações em rodovias utilizando o software VISSIM, abrangendo tanto vias simples quanto duplas com diferentes volumes de tráfego diário, foi detectada uma diminuição da velocidade média de deslocamento a partir do valor do VMD por faixa, sendo chamado de atraso A1. Essas simulações foram realizadas sobre duas óticas:

- fluxo habitual de tráfego: tempos de percurso aferidos apenas pelas interferências do volume de tráfego diário, assim como devido às características geométricas da via;
- influência de serviços rodoviários: tempos de percurso aferidos a partir da obstrução de uma das faixas de trânsito.

Segue, nas figuras 3 e 4, um exemplo de resultado da simulação de pista simples com fluxo livre.

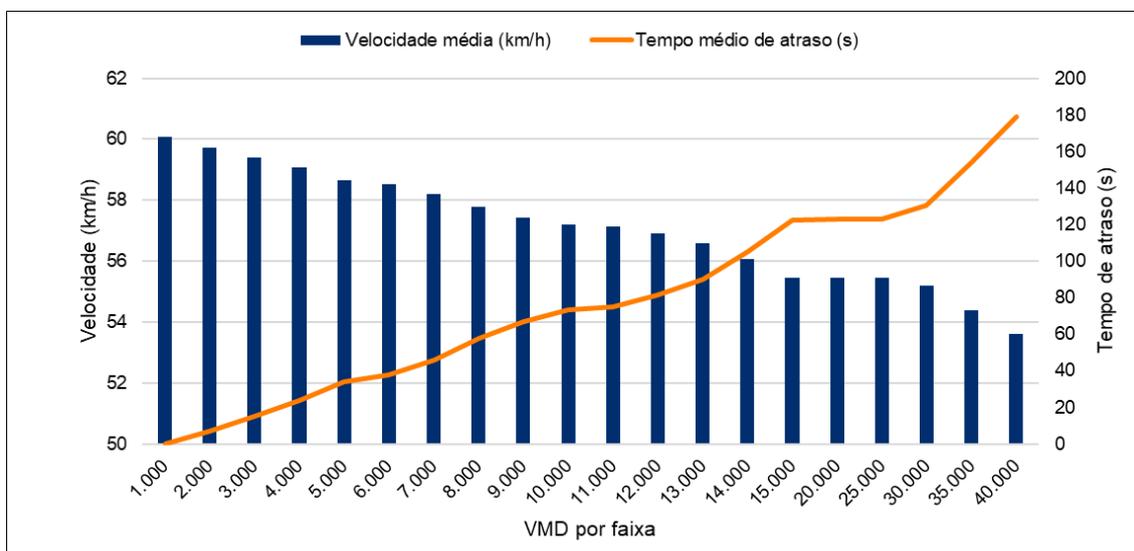


Figura 3 - Resultado de dados do VISSIM para pista simples com fluxo livre



Figura 4 - Simulação do VISSIM para pista simples com fluxo livre em VMD de 40.000 por faixa

Conforme pode ser observado na figura 3, não foi identificado um limite superior para o valor do VMD por faixa. Em relação ao limite inferior, o estudo levantou dados das rodovias brasileiras concluindo que a velocidade média de transporte em rodovia pavimentada do SICRO está definida para a situação mais comum, que se trata de rodovias de pista simples com VMD inferior a 2.000, ou seja, 1.000 por faixa. Através das simulações operacionais, observou-se que o impacto no fluxo de transporte ocorre, em grande parte dos casos, quando o VMD por faixa excede 1.000 veículos, situação esta em vias majoritariamente pavimentadas. Para as demais classificações (i.e., leito natural e revestimento primário), os volumes não caracterizam níveis elevados de fluxo.

Dessa forma, o estudo concluiu que, para VMD até 1.000, por faixa, a velocidade adotada deve ser igual a 60 km/h. Acima desse limite, no entanto, a velocidade média é reduzida linearmente em função do valor do VMD.

Com a simulação de tráfego alternado foi detectado um segundo impacto da velocidade média, desta vez relacionado ao tempo de espera das operações de “PARE” e “SIGA”, intitulado de atraso A2, que ocorre em serviços que tenham possibilidade de induzir a ocupação da área da pista ou do acostamento durante a execução, que, em pistas simples, resultam em tráfego alternado.

Em relação à análise da influência urbana, foi utilizado o sistema de informação geográfica – GIS, que possibilita conectar dados a um mapa, integrando sistema de localização com diversos tipos de informações descritivas, criando camadas de trabalho, denominadas *shapes*.

A aplicação dos *shapes* (i.e., camadas) no tratamento de dados geoespaciais utilizando o software QGIS desempenha um papel fundamental na análise, representação e interpretação de informações relacionadas à geografia e ao espaço. De acordo com a Documentação para QGIS 2.18 (QGIS, 2019), o termo *shapes* refere-se aos arquivos no formato shapefile, que são amplamente utilizados para armazenar dados geoespaciais, como pontos, linhas e polígonos, juntamente com seus atributos associados.

Essas estruturas de dados altamente organizadas permitem armazenar informações geográficas de maneira eficiente. No tocante aos dados de entrada, foram utilizadas as seguintes bases:

- áreas urbanizadas: coordenadas geográficas da designação das áreas com interferências humanas a partir da classificação do IBGE;
- Sistema Nacional de Viação – SNV: constituído pela infraestrutura física e operacional dos vários modos de transporte de pessoas e bens, sob jurisdição dos diferentes entes da Federação, nos regimes público e privado.

Em relação à interferência de áreas urbanas, com o objetivo de identificar a velocidade média nos trechos que se caracterizam pelo entorno dos centros urbanos, procedeu-se com a extração e avaliação dos dados de extensão de rodovias que contornam as áreas urbanizadas. Em posse desses dados, as



velocidades foram obtidas através de programação em API do Google, a partir das coordenadas geradas da sobreposição dos *shapes* descritos. Para o transporte de insumos em vias pavimentadas que não sejam rodovias federais ou estaduais, a velocidade média de deslocamento é em média igual a 30 km/h, sendo estas vias intituladas de vias urbanas. Dessa forma, foi detectada a significância de atrasos relacionados a tráfego em vias urbanas, sendo este um terceiro tipo de atraso, o atraso A3.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia atual do FIT trouxe grandes avanços à engenharia de custos de infraestrutura, como a retirada do tempo de interferência de tráfego de dentro do Fator de Eficiência (Fe), possibilitando a criação de um fator específico que se adequa de acordo com as condições de contorno de cada projeto. No entanto, a metodologia pode ser aprimorada, e com as análises de dados obtidos de referências bibliográficas, coletas de campo e simulações operacionais de tráfego, foram detectados três tipos de atrasos que impactam diretamente nas velocidades de tráfego: A1, referente à redução de velocidade média com aumento de VMD por faixa; A2, referente à redução de velocidade média em função de existência de tráfego alternado; e A3, referente ao tráfego em vias urbanas.

Com base nos três tipos de atrasos detectados, é possível realizar uma atualização da metodologia com a criação de um novo FIT, que traz dados bem fundamentados para remuneração da interferência de tráfego, a qual, conforme detectado no estudo, ocorre apenas durante o transporte de insumos.

Para atualização da metodologia, é necessária uma proposta de novo layout das CCUs do SICRO, trazendo uma coluna para apresentação do valor do FIT dentro da parcela de momento de transporte. No tocante à transparência na aplicação do FIT em casos de CCUs auxiliares, ressalta-se a recomendação de que todas as CCUs empregadas em um orçamento sejam divulgadas, incluindo as auxiliares. Assim, embora o FIT seja explicitado na parcela relativa ao momento de transporte, sua aplicação também pode ser verificada nas CCUs auxiliares, na parcela relativa ao momento de transporte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os novos parâmetros propostos, conclui-se que a atualização da metodologia do FIT trará ganhos significativos na remuneração das interferências de tráfego em obras rodoviárias, resultando em uma avaliação mais justa e precisa dos custos associados a esse importante aspecto da construção de rodovias.

Em resumo, a metodologia aprimorada proporciona uma remuneração mais equitativa e bem fundamentada, refletindo de maneira mais precisa as interferências de tráfego e suas implicações financeiras nas obras rodoviárias. Este avanço representa um passo importante para a gestão eficiente dos custos no setor de infraestrutura, beneficiando não apenas os gestores e executores das obras, mas também a sociedade como um todo, ao promover uma utilização mais responsável e eficaz dos recursos públicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APANAVIČIENĖ, R.; DAUGĖLIENĖ, A. New classification of construction companies: overhead costs aspect. **Journal of Civil Engineering & Management**, vol.17, n.4, 2011

BAKRI, A. S.; RAZAK, M. A. A.; ABD SHUKOR, A. S. Identification of factors influencing time and cost risks in highway construction projects. **International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology**, vol.12, n.3, p. 280-288, 2021.

BECKER, T.C.; JASELSKIS, E.J.; EL-GAFY, M. Improving predictability of construction project outcomes through intentional management of indirect construction costs. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol.140, n.6, 2014.



- CHOI, J. Quantifying the effects of interference for an alternative method of construction productivity estimation. **KSCE Journal of Civil Engineering**, vol.15, n.5, p. 761-769, 2011.
- CHOI, J.; RYU, H. Statistical analysis of construction productivity for highway pavement operations. **KSCE Journal of Civil Engineering**, vol.19, n.5, p. 1193-1202, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de custos de infraestrutura de transportes**. Brasília, DF: DNIT, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicr>. Acesso em: 28 de abril de 2024.
- _____. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 28 de abril de 2024.
- ELLIS, R.D.; LEE, S.H. Measuring project level productivity on transportation projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol.132, n.3, p. 314-320, 2006.
- EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **Estudos de tráfego**. Brasília, DF: EPL, 2019. Disponível em: <https://antt.gov.br/documents/359170/710124/Estudos+de+Tr%C3%A1fego.pdf/7c264949-2f2a-a0d6-152d-3021c0338384?t=1592842079107>. Acesso em: 28 de abril de 2024.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Work zone safety**. Washington D.C.: FHWA, 2023.
- JIANG, Y. The effects of traffic flow rates at freeway work zones on asphalt pavement construction productivity. **Transportation Quarterly**, vol.57, n.3, p. 83-103, 2003.
- LEE, E.B.; HARVEY, J.T.; IBBS, C.W.; ST MARTIN, J. Construction productivity analysis for asphalt concrete pavement rehabilitation in urban corridors. **Transportation Research Record**, vol.1813, n.1, p. 285-294, 2002.
- LEE, E.B.; HARVEY, J.T.; THOMAS, D. Integrated design/construction/operations analysis for fast-track urban freeway reconstruction. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol.131, n.12, p. 1283-1291, 2005.
- MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.
- PIÑA, A. B. S. (2021). **Framework para relacionar fatores de riscos em contratos de concessões rodoviárias**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 137p.
- PINTO, V. R. C. **Engenharia de métodos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.
- PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.
- QGIS Project. **QGIS user guide release 2.18**. QGIS, 2019. Disponível em: https://docs.qgis.org/2.18/pdf/pt_PT/QGIS-2.18-UserGuide-pt_PT.pdf. Acesso em: 28 de abril de 2024.
- RIQUETI, A. C. **Estudo de volume de tráfego e nível de serviço na alta e baixa temporada da rodovia SC-401**. Monografia (TCC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- SLIUPAS, T.; RADVILAVICIUS, R.; ANTANAVICIUS, T. Interaction between population in a road section are and AADT. AADT forecasting using area population and traffic research data form neighbouring road sections. In: **Proceedings of 10th International Conference on Transport Means**, 2006. p. 143-146.
- VYAS, T.; VARIA, H. R. Impact of construction work zone on urban traffic environment. **International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems**, vol.16, n.1, 2023.
- WONG, E.; SWEI, O. New construction cost indices to improve highway management. **Journal of Management in Engineering**, vol.37, n.4, 2021.