



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

PROPOSTA PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUME DE TRÁFEGO DE SEGMENTOS EXPERIMENTAIS – PRO – MeDiNa A PARTIR DE DADOS DO PNCT

Nelson Wargha Filho¹; Thiago Davi Rosa¹; Amaro Venâncio Junior¹; Mario Sergio de Souza Almeida¹; Henrique Petisco de Souza¹;

RESUMO

O programa de segmentos experimentais no DNIT, denominado PRO-MeDiNa, busca aperfeiçoar a calibração do novo método de dimensionamento nacional de pavimentos asfálticos (MeDiNa). Na fase de monitoramento desses segmentos são realizados levantamentos anuais para avaliação da condição funcional e estrutural do pavimento, além da verificação do tráfego. A operacionalização da metodologia de contagem de tráfego por 7 dias, 24 h por dia, prevista na publicação IPR- 749, se mostra inviável sem o apoio de empresa contratada. Dessa forma, o uso dos dados obtidos do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) para a determinação do tráfego nos segmentos experimentais desponta como uma alternativa viável. Na contagem convencional de 7 dias durante 24 horas, a estatística indica 90% de probabilidade de o erro não ultrapassar 25%. Já na contagem permanente, 24 h por dia, 365 dias por ano, como a do PNCT, há 90% de probabilidade de que o erro seja inferior 5%. Contudo, a classificação de veículos do PNCT, baseada apenas em número de eixos, difere da classificação utilizada nos projetos do DNIT. No presente trabalho buscou-se apresentar um procedimento que demonstre a potencialidade do uso de dados do PNCT, onde, através do registro do número de eixos e distância entre os mesmos, é possível adequá-los à classificação adotada nos estudos de tráfego formais do DNIT. Considerando-se, porém, o volume de dados gerados no PNCT, foi necessária criar uma rotina computacional para realizar esse procedimento de maneira automatizada. A ferramenta escolhida foi o Alteryx Designer que, com o auxílio de nove sub-rotinas, se mostrou promissora. Em função da riqueza de informações geradas pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego, propõe-se que, essa rotina elaborada para os segmentos PRO-MeDiNa, possa ser introduzida diretamente na saída dos dados do PNCT, permitindo o seu uso rotineiro nos estudos de tráfego do DNIT.

PALAVRAS-CHAVE: estudos de tráfego; numero N; calibração MeDiNa; rotina computacional.

ABSTRACT

PRO-MeDiNa, an experimental road program at DNIT, aims to improve the calibration of the new national mechanistic-empirical pavement method - MeDiNa. During the monitoring phase of these segments, annual surveys are conducted to evaluate the functional and structural condition of the pavement, in addition to traffic verification. The traffic counting methodology for 7 days/24 hours a day, as outlined in publication IPR-749, proves to be unfeasible without the use of a contracted company. Therefore, the viability of using PNCT in experimental segments was studied. The mentioned methodologies have different accuracies. For a conventional count of 7 days over 24 hours, statistics indicate a 90% probability that the error will not exceed 25%. On the other hand, considering the permanent count, 24 hours a day, 365 days a year, as in PNCT, there is a 90% probability that the error will be $\leq 5\%$. However, the vehicle classification of PNCT, based only on the number of axles, differs from the classification used in DNIT projects. In this work, we sought to present a procedure that demonstrates the potential use of PNCT data. By observing the number of axles and the distance between them, it is possible to adapt them to the classification adopted in traffic studies. However, considering the volume of data generated in PNCT, it was necessary to create a computational routine to perform this procedure in an automated manner. The chosen tool was Alteryx Designer, which, through nine sub-routines described in the text, showed promise. Due to the wealth of information generated by the National Traffic Count Plan, it is proposed that the routine developed for PRO-MeDiNa segments could be directly expanded to the PNCT data output, allowing its use in planning and traffic studies at DNIT.

KEY WORDS: traffic studies; Esal Number; MeDiNa calibration; computational routine.

¹ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, nelson.wargha@dnit.gov.br; thiago.rosa@dnit.gov.br; amaro.venancio@dnit.gov.br; mario.almeida@dnit.gov.br; henrique.souza@dnit.gov.br



INTRODUÇÃO

Buscando o aperfeiçoamento da calibração do novo Método de Dimensionamento Nacional de pavimentos asfálticos (MeDiNa), o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) tem, desde de 2020, implantado segmentos experimentais em rodovias sob sua jurisdição, em diversas regiões do país. Esse programa, denominado PRO-MeDiNa, utilizou, inicialmente, apenas segmentos de rodovias em construção ou em restauração e se dividia em três fases: construção, monitoramento e tratamento dos dados.

A fase da construção do segmento é desmembrada em duas etapas: (i) estudos preliminares, que envolvem a coleta de dados relevantes; e (ii) execução, composta pela caracterização e avaliação dos materiais obtidos no momento de sua aplicação em campo e pelo controle de execução através de ensaios definidos. A fase de monitoramento procura avaliar as condições funcional e estrutural dos pavimentos, além dos efeitos climáticos e do tráfego no desempenho do segmento. Por fim, a última fase é o tratamento de dados coletados nas duas fases anteriores, onde são realizadas as análises dos resultados obtidos em campo juntamente com aqueles gerados pelo software MeDiNa. Em 2023, por iniciativa de técnicos da Superintendência Regional do DNIT no estado da Bahia (Almeida et al., 2022), uma variação do programa foi criada, utilizando segmentos de rodovias em operação e com boas condições funcionais e estruturais. Chamado de PRO-MeDiNa B, essa variação no programa pode ser uma interessante opção, por proporcionar mais agilidade na ampliação da coleta de dados. Isso ocorre justamente por utilizar segmentos já executados e com maior possibilidade de ocorrência do dano no pavimento, em um tempo menor, quando se compara a um segmento recém-construído.

Em ambas modalidades do PRO-MeDiNa são necessárias atividades contínuas de monitoramento com periodicidade anual, excetuando-se o levantamento de 6 meses, incluído no programa original, com rodovias em construção ou restauração. Essas atividades incluem os levantamentos e avaliações já citados.

A Diretoria de Planejamento e Pesquisa (DPP) do DNIT, através da Coordenação do Instituto de Pesquisas em Transportes (IPR), tem buscado capacitar técnicos do órgão, para que, parte desse monitoramento possa ser realizado pelos próprios servidores, com o apoio de empresas supervisoras que estiverem atuando nas proximidades dos segmentos experimentais, ou por Universidades parceiras da Autarquia. Entretanto, uma parcela importante desses levantamentos exige a contratação de empresas terceirizadas, pois envolvem, dentre outras atividades preparatórias: (i) avaliação estrutural com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD); (ii) avaliação funcional de irregularidade longitudinal (IRI) com o perfilômetro inercial a laser e; (iii) contagem de tráfego anual.

No que se refere ao levantamento de tráfego, foco principal do presente artigo, o guia PRO-MeDiNa, publicação IPR-749 (DNIT, 2020), na sua primeira edição, indicava a contagem classificatória de 7 dias consecutivos, 24 horas por dia, em uma semana típica (não influenciada por feriado) ou uma contagem simplificada, proposta por Bueno (2019). Além disso, a publicação também recomendava a utilização de procedimentos de contagem automatizada (vídeo registro simples, identificação automática dos veículos, ou qualquer outro processo automatizado para obtenção do volume de tráfego).

Avaliou-se, contudo, que quaisquer que fossem os procedimentos utilizados, a realização desse tipo de levantamento se mostrava inviável sem a contratação de empresa terceirizada, o que poderia gerar custos significativos e atrasos no referido levantamento, devido a processos licitatórios e outros trâmites necessários para a referida contratação.



Considerando-se a possibilidade de utilização de dados de contagem permanente, gerados no Plano Nacional de Contagem de Tráfego - PNCT, programa gerido pela Coordenação Geral de Planejamento do DNIT – CGPLAN, buscou-se formas de empregá-lo no monitoramento dos segmentos experimentais.

Dessa forma, o presente trabalho objetiva apresentar uma proposta de utilização dos dados do PNCT em estudos de tráfego, com auxílio de algoritmos específicos, que buscam classificar os veículos de acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (DNIT, 2006).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT)

O atual PNCT é uma evolução de um projeto criado em 1975, denominado como Programa de Contagem Sistemática de Trânsito, implantado inicialmente nas rodovias dos estados do RJ, SP e MG. Em 1977, com o nome de Plano Nacional de Contagem de Trânsito, contava com 120 postos permanentes. Em 1989, esse número passou para 235 postos, evoluindo para 266 em 1997 e 285 postos permanentes em 1998.

Em 2001 o PNCT foi interrompido por contingenciamentos orçamentários, sendo retomado somente em 2014, já denominado como Plano Nacional de Contagem de Tráfego. Ainda no mesmo ano, paralelamente à instalação dos equipamentos e a realização de pesquisas Origem/Destino (O/D), o DNIT firmou um Termo de Execução Descentralizada (TED) com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) visando o desenvolvimento de uma metodologia para consolidação e tratamento dos dados obtidos tanto na contagem como na verificação de O/D.

Em 2020, após o encerramento dos primeiros contratos, foi realizada uma nova licitação com o intuito de viabilizar a continuidade do programa. Nessa nova fase, o número de postos permanentes aumentou para 350, com mais 65 postos de cobertura/ano. Os contratos tiveram ordem de início em fevereiro de 2021 e término previsto em fevereiro de 2026. Atualmente, no ano de 2024, mais de 90% dos postos de coleta estão em operação. O principal objetivo do PNCT é estimar o tráfego dos trechos mais representativos da malha rodoviária federal, se tornando uma ferramenta de fundamental importância para o planejamento das intervenções e também para a determinação do tráfego a ser utilizado nos projetos rodoviários.

Dados de Tráfego

O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, publicação IPR 723 (DNIT, 2006), apresenta informações sobre o nível de confiança a ser considerado ao se optar por uma das diversas metodologias disponíveis de contagem de tráfego em uma via. Assim, para qualquer contagem é necessário decidir, preliminarmente, qual o nível de precisão requerido e então selecionar o método a ser adotado. Uma contagem de 7 dias, 24 horas por dia, por exemplo, se enquadra no Nível C, em que existe 90% de probabilidade de o erro não ultrapassar 25%. Considerando que existam contagens da rede viária do nível A/B nas proximidades do trecho em questão, com tráfego equivalente, pode-se utilizar as variações sazonais desses postos para corrigir os valores das contagens realizadas, elevando o seu nível de precisão e, dessa forma, atingir o nível B em que existe 90% de probabilidade de o erro não ultrapassar 10%.

Já em uma contagem permanente a precisão é considerada como nível A, em que existe 90% de probabilidade de o erro ser menor ou igual a 5%. Além disso, o uso do PNCT permite a obtenção de dados importantes que ajudam a entender melhor o comportamento do tráfego como o Fator K, o Fator Hora de Pico e as variações sazonais. Carvalho et al. (2015), comparou dados obtidos em



contagem realizada por 7 dias, 24 horas por dia, com dados anuais provenientes de Redutores Eletrônicos de Velocidade (REV), em 9 diferentes rodovias de Minas Gerais. Os autores observaram, neste estudo, um erro de 10% para a contagem semanal realizada.

Coleta de dados

As contagens de tráfego permanentes do PNCT são realizadas de forma automática através de equipamentos instalados em pontos considerados estratégicos das rodovias. São utilizados sensores do tipo Detector por Laço Indutivo (DLI), sendo que seu funcionamento consiste na captação das alterações na indutância de uma bobina (laço indutivo) instalada no pavimento asfáltico quando um veículo passa sobre essa bobina (Almeida et al. 2023). Destaca-se ainda a instalação adicional de sensores piezoelétricos que aferem dados secundários, como a velocidade instantânea do veículo, a estimativa do peso bruto total – PBT, e estimativa do peso por eixo. A Figura 1 apresenta a abrangência do PNCT no território brasileiro.

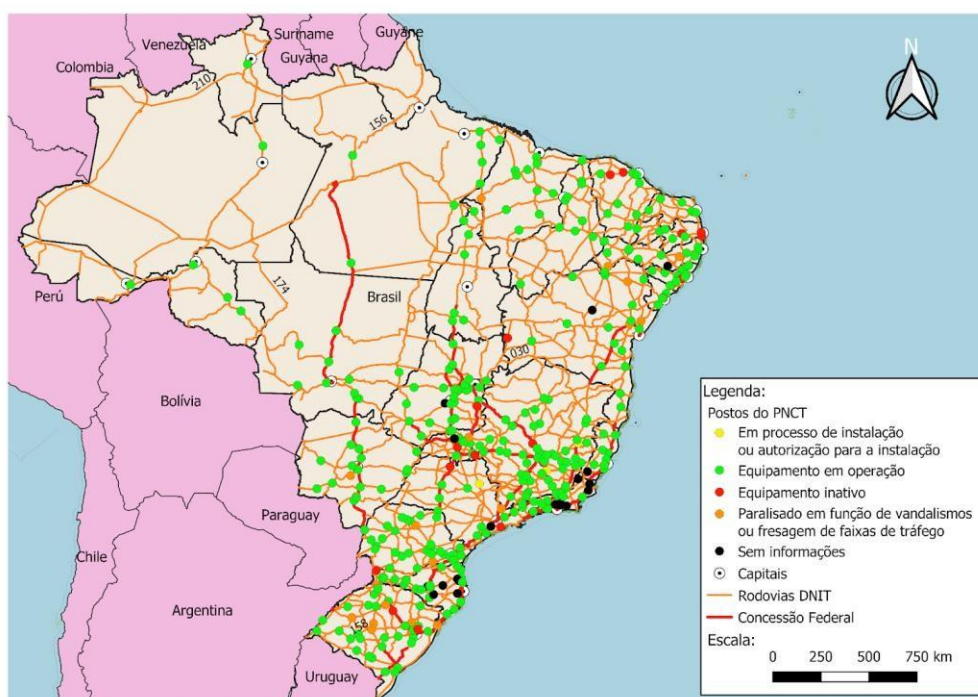


Figura 1. Mapa de postos do PNCT. (DNIT, 2024).

As informações coletadas pelos equipamentos são transferidas para o centro de processamento de dados do DNIT, com auxílio de um sistema de internet móvel. A partir daí, os dados são tratados preliminarmente onde são avaliados quanto a qualidade relacionada a ausências de eventos, vandalismo, avaria no equipamento, problemas elétricos, falha da comunicação com o equipamento, além de falha na comunicação com o sensor, para depois serem disponibilizados para acesso geral (internet).

A disponibilização dos dados ao público ocorre na página do DNIT dedicada ao PNCT, onde é possível, ainda, consultar os dados das pesquisas origem/destino (O/D), dados de tráfego dos postos permanentes, dados de tráfego dos postos de cobertura e estimativa de tráfego na malha federal a partir das informações disponibilizadas. Os dados sobre velocidade e pesagem dos veículos não têm



precisão suficiente para serem disponibilizados para consulta pública e são coletados unicamente para uso interno do planejamento do DNIT.

Classificação PNCT

O PNCT utiliza uma classificação veicular própria com 11 classes principais, sendo as classes de “A” a “H” consideradas para classificar, pelo número de eixos, os veículos pesados, a classe “I” para veículos de passeio e utilitários, a classe “J” para moto e a classe “L” para outros veículos. As oito classes principais destinadas a veículos comerciais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Classes PNCT para veículos comerciais. (DNIT, 2024)

Veículos Comerciais									Outros veículos		
Classe	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L
Nº de eixos Eixos	2	3	4	5	6	7	8	9	Passeio/ utilitário	moto	outros

Os dados disponibilizados ao público pelo site do PNCT seguem a classificação acima apresentada, gerando uma planilha com a contagem diária de cada classe de veículos, por hora e por faixa de tráfego, como exemplificado na figura 2.

Volume Horário - 15 / Maio / 2019 - BR-116/MG km 613													
Hora	Sentido	VH	Classe										
			(A) Ônibus/Cam 2 eixos	(B) Ônibus/Cam 3 eixos	(C) Caminhão 4 eixos	(D) Caminhão 5 eixos	(E) Caminhão 6 eixos	(F) Caminhão 7 eixos	(G) Caminhão 8 eixos	(H) Caminhão 9 eixos	(I) Passeio	(J) Moto	(L) Outros
0	C	13	1	6	2	2	1	0	0	0	1	0	0
	D	23	2	8	4	3	0	3	0	0	3	0	0
	Total	36	3	14	6	5	1	3	0	0	4	0	0
1	C	21	2	10	1	0	1	0	0	0	7	0	0
	D	21	7	9	0	0	2	0	0	0	2	0	1
	Total	42	9	19	1	0	3	0	0	0	9	0	1
!	!	!	!										
23	C	35	9	8	2	1	3	0	0	0	6	3	3
	D	49	5	11	5	8	6	1	0	0	11	1	1
	Total	84	14	19	7	9	9	1	0	0	17	4	4

Figura 2. Formato dos dados diários disponibilizados no site do PNCT. (DNIT, 2019).

Todavia, ao se analisar a base de dados interna, armazenada com as informações capturadas pelos contadores de veículos, verifica-se a possibilidade de uma classificação um pouco mais detalhada, já que existe a informação da distância entre os eixos do veículo. Essa análise permite que se verifique, por exemplo, se dois eixos sequenciais têm distância superior à 2,40 metros ou não. Caso seja superior pode-se defini-lo como um eixo isolado, enquanto que se a distância for inferior refere-se a um tandem duplo. No caso de três eixos sequenciais com menos de 2,40 m entre o primeiro e o segundo e entre o segundo e o terceiro, pode-se inferir então, que se trata de um tandem triplo e caso contrário tratam-se de eixos isolados. Logo, a partir dessas informações é possível a elaboração de uma nova classificação, aderente àquela adotada no PRO-MeDiNa.

METODOLOGIA

Utilização dos dados do PNCT nos segmentos PRO-MeDiNa

Considerando-se a importância dos dados de contagem permanente fornecidos pelo PNCT, que apresenta, elevado nível de confiança por identificar o número e os tipos de veículos que trafegam



nas vias em cada faixa, assim como seu volume, avaliou-se no IPR, a necessidade de se implementar segmentos experimentais, preferencialmente, em locais onde haja um posto de contagem do PNCT. Um benefício adicional para o PRO-MeDiNa é a possibilidade de verificar o crescimento do tráfego ao longo dos anos de maneira assertiva. Contudo, faz-se necessário que os dados sejam tratados para serem usados na mesma classificação empregada no Manual de Estudos de Tráfego e no Quadro de Fabricantes de Veículos (DNIT, 2006; 2021).

Os dados brutos obtidos pelo PNCT são compostos por informações individuais dos veículos, como data de aferição, velocidade, quantidade e tipos dos eixos, distância entre eixos, classe PNCT, peso por eixo e peso bruto total (PBT). A classificação do manual do DNIT categoriza os veículos segundo o número e tipos dos eixos além das distâncias entre si. Todas essas informações são enviadas em formato CSV, em que cada evento de veículo é representado por uma linha.

Na Figura 2 é apresentado, como exemplo, algumas colunas da planilha fornecida pelos postos de contagem, com as informações até o terceiro eixo dos veículos, sendo que ela pode comportar informações de veículos com até 16 eixos. Além das informações apresentadas para cada eixo, a planilha também retorna a data e horário da passagem do veículo e código SNV da rodovia. Para cada eixo, são reportadas as informações sobre o tipo de eixo, o peso aplicado e sua distância em relação ao eixo seguinte. Deve-se destacar que a identificação dos veículos por faixa de tráfego, mesmo em vias duplicadas é fundamental para distinguir o efeito do carregamento em cada uma das faixas.

faixa	tamanho _total_ metros	classe	pbt_ton eladas	eixo_ num_ 1	tipo_ei xo_1	peso_to neladas_ eixo_1	distancia_ metros_ei xos_1_2	eixo_n um_2	tipo_eix o_2	peso_ton eladas_eix o_2	distancia_ metros_ eixos_2_ 3	eixo_ num_ 3	tipo_ eixo_ 3	peso_ton eladas_ei xo_3	distancia_ metros_ eixos_3_ 4
1C	3,8	I1	1,522	1	S	0,903	2,3	2	S	0,619					
1C	10,5	B2	16,308	1	S	3,996	5	2	D	6,949	1,3	3	D	5,363	
1D	18	E1	59,55	1	S	5,274	3,5	2	D	10,515	1,3	3	D	15,101	5,989
1D	9	A2	19,16	1	S	9,169	5,4	2	S	9,991					

Figura 2. Exemplo da apresentação dos dados brutos fornecidos pelos postos de contagem. Fonte: (PNCT - DNIT)

A nova classificação é feita então com base nas distâncias entre os eixos fornecidas para cada veículo, que são, inicialmente, inseridas em um dos três intervalos: $d > 3,5$ m, para veículos comerciais com apenas dois eixos, e $1,2 < d \leq 2,4$ m ou $d > 2,4$ m para os demais veículos. Feita essa delimitação das distâncias entre os eixos, realiza-se em seguida a comparação dessas informações com as especificações dos veículos constituintes da classificação do DNIT. Na Figura 3 é possível ver a classificação adaptada pelo IPR e a forma como ela é introduzida no algoritmo utilizado.

N° de Eixos	Classificação Adaptada	d12	d23	d34	d45	d56	d67	d78	d89
6	3S3	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	<1,2<=2,4	<1,2<=2,4			
	3J3/3JD/3C3	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	>2,4	<1,2<=2,4			
	3I3/3N3	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	>2,4	>2,4			
	4R2	<1,2<=2,4	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	>2,4			
	2R4/2D4	>2,4	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	<1,2<=2,4			
	2N4	>2,4	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	>2,4			
	2L4	>2,4	>2,4	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4			
	2J4	>2,4	>2,4	>2,4	>2,4	<1,2<=2,4			
	3LD	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4	<1,2<=2,4	>2,4			
Em que: $d > 3,5 = >3,5$ $1,2 < d \leq 2,4 = <1,2<=2,4$ $d > 2,4 = >2,4$									

Figura 3. Tabela de classificação veicular adaptada pelo IPR para veículos com 6 eixos.



Sabe-se que é possível que diferentes configurações de veículo possam ter a mesma sequência de eixos, como por exemplo os veículos 3C3 e 3J3. Nesse caso, é importante destacar que para o fim a de cálculo do Número N, esse detalhamento não é importante.

Para exemplificar o sistema, toma-se os dados de um veículo de 6 eixos em uma das planilhas disponibilizadas pelo PNCT para a BR-420/BA. Pela classificação PNCT, esse veículo é simplesmente enquadrado na classe E, podendo ser um dos 13 veículos listados na tabela de equivalência apresentada anteriormente. Nessa situação, é necessária a identificação correta do tipo de veículo de acordo com a classificação adotada pelo DNIT. O primeiro passo é a organização das cinco distâncias entre os eixos do veículo dentro dos intervalos abordados anteriormente. A tabela 2 apresenta as informações do veículo escolhido e organização dos dados para o início do procedimento para a nova classificação proposta.

Tabela 2. Dados do veículo utilizado como exemplo.

Dados brutos	Classe PNCT	d_{12} (m)	d_{23} (m)	d_{34} (m)	d_{45} (m)	d_{56} (m)
	E	3,5	1,3	6,0	1,2	1,3
Organização por intervalos		$>2,4$	$<1,2 \leq 2,4$	$>2,4$	$<1,2 \leq 2,4$	$<1,2 \leq 2,4$

A etapa seguinte é a comparação dos intervalos obtidos com o algoritmo apresentado anteriormente, segundo as informações disponíveis no Quadro de veículos do DNIT para os diferentes tipos de veículos. Nesse caso, compara-se cada uma das cinco distâncias entre eixos com aquelas descritas para os diferentes veículos de 6 eixos. A figura 4 apresenta algumas das possibilidades para a configuração de eixos considerada. Ao se comparar as distâncias entre os eixos, verifica-se que o veículo é composto por cavalo com eixo trator simples mais um eixo tandem duplo e um semirreboque com eixo tandem triplo, cujo código é 3S3. Demonstra-se assim que a nova classificação é necessária, a fim de se considerar as propriedades corretas dos veículos no cálculo do número N, sobretudo, a carga transmitida pelos eixos. Logo, esse procedimento de classificação foi adotado como embasamento para o desenvolvimento da rotina computacional descrita à seguir.

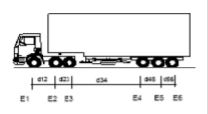
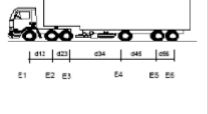
	6	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t $d_{12}, d_{34} > 2,40m$ $1,20m < d_{23}, d_{45}, d_{56} \leq 2,40m$	3S3
	6	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t $d_{12}, d_{34}, d_{45}, d_{56} > 2,40m$ $1,20m < d_{23} \leq 2,40m$	3I3
	6	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t $d_{12}, d_{34}, d_{45} > 2,40m$ $1,20m < d_{23}, d_{56} \leq 2,40m$	3J3

Figura 4. Descrição dos veículos na classificação DNIT. Fonte: (DNIT, 2006)

RESULTADOS



Rotina Computacional

Para o tratamento dos dados, visando a nova classificação dos veículos, foi empregada uma rotina computacional, utilizando a ferramenta Alteryx Designer, com intuito de automatizar o fluxo de tratamento dos dados. É possível observar que cada retângulo representa as sub-rotinas utilizadas, onde os nós representam as ferramentas aplicadas e os links a conexão entre as ferramentas no fluxo. Para garantir a rastreabilidade dos resultados, o tratamento foi dividido em nove sub-rotinas, ilustradas na Figura 5 e detalhadas em seguida (A a I).

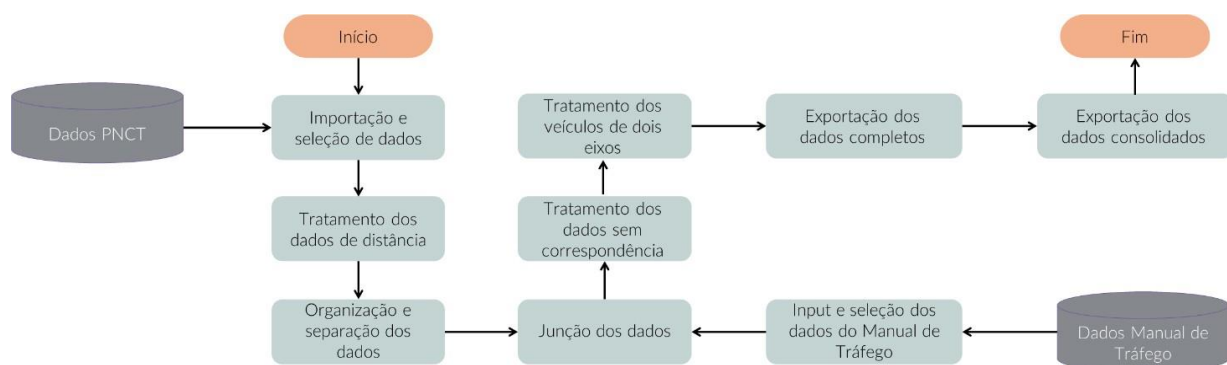


Figura 5. Fluxo de tratamento de dados no Alteryx Designer.

A - Importação e seleção de dados

Essa fase envolveu a importação dos arquivos-base em CSV (Comma-Separated-Values) de um determinado equipamento para um determinado mês de referência. Foram considerados, inicialmente, todos os 71 parâmetros disponibilizados pelo PNCT. Posteriormente, foi aplicada uma seleção aleatória para formar uma amostra com 10% do total de eventos (registro da passagem de um determinado veículo) para calibração dos parâmetros e ajustes do modelo. Em seguida essa seleção foi estendida a toda a população, para exportação final dos resultados.

B - Tratamento dos dados de distâncias

O tratamento dos dados de distâncias envolveu uma série de ferramentas com o intuito de definir a classificação da distância entre eixos para cada evento registrado. O registro do PNCT, originalmente, apresenta uma série de parâmetros que representam, em metros, a distância entre eixos utilizando a seguinte notação: $\text{distancia_metros_eixos_i_j}$, em que “i” e “j” representam os números dos eixos adjacentes. Essas distâncias (d) foram, inicialmente, classificadas de acordo com dois intervalos: $1,2 < d \leq 2,4$ e $d > 2,4$ m. Posteriormente, os veículos de apenas dois eixos foram verificados em outros dois intervalos: $d \leq 3,5$ e $d > 3,5$. Os nomes dos parâmetros também foram renomeados para dij, em que “i” e “j” representam os números dos eixos adjacentes.

C - Organização e separação dos dados

A sub-rotina de organização e separação dos dados objetivou a realização de uma série de transformações importantes para a sequência do tratamento de dados. Iniciou-se com a definição da quantidade de eixos de acordo com a quantidade de parâmetros “dij” que não apresentavam valores vazios. Posteriormente, para otimizar o processamento, removeu-se parâmetros inservíveis à sequência do fluxo e configurou-se os tipos de dados mais adequados para cada um dos parâmetros restantes. Nessa sub-rotina, uma etapa importante foi a separação de dados de automóveis (I1) e motos (J1), os quais receberam uma nova classificação denominada “passeio”, em que foram



detectados alguns ruídos nos dados de distâncias entre eixos nessas classes de veículos, que poderiam ensejar em uma classificação equivocada na sequência do fluxo, recebendo uma nova classificação. Essa etapa foi importante, pois foi possível detectar os demais eventos não classificados como “passeio” que seguiriam para a sub-rotina posterior.

D - Input e seleção dos dados do Manual de Tráfego

Com os dados no formato adequado, após a aplicação da sub-rotina descrita em C, foi possível preparar os dados do Quadro de Veículos do DNIT para possibilitar a classificação dos eventos do PNCT, segundo as classes definidas no referido quadro. Como subsídio para essa etapa, foi utilizada a base de dados da tabela de classificação veicular adaptada já apresentada, de forma resumida, na Figura 3. Então, foram aplicadas ferramentas de classificação e limpeza de dados para possibilitar a escolha dos tipos de informações e remoção de caracteres vazios, preparando-os para junção com os dados dos eventos.

E - Junção dos dados

A etapa de junção dos dados iniciou-se pela busca de correspondência entre os eventos obtidos no item C com a classificação adaptada obtida em D. Para isso, foram comparados os parâmetros em forma ordinal, conforme tabela A.

Tabela 3. Junção dos parâmetros dos eventos com parâmetros definidos pelo DNIT.

Parâmetro do evento (C)	Parâmetro do DNIT (D)	Descrição	Exemplo
d_{12}	d_{12}	Distância entre o eixo 1 e 2	$> 2,4$
d_{23}	d_{23}	Distância entre o eixo 2 e 3	$< 1,2 \leq 2,4$
d_{34}	d_{34}	Distância entre o eixo 3 e 4	$> 2,4$
d_{45}	d_{45}	Distância entre o eixo 4 e 5	$< 1,2 \leq 2,4$
d_{56}	d_{56}	Distância entre o eixo 5 e 6	$< 1,2 \leq 2,4$
eixo	eixos	Número total de eixos	6

Dessa forma, os dados dos eventos que apresentaram correspondência exata àqueles definidos pelo IPR, receberam a correspondente classificação. Os demais dados foram direcionados para a sub-rotina F. para tratamento complementar visando a classificação direta. Posteriormente, todas as informações já classificadas, sejam elas os eventos de veículos de passeio (abordados no item C), os veículos classificados na presente sub-rotina (item F) e aqueles que passaram por tratamento complementar (item F), foram agrupados em uma única base.

F - Tratamento dos dados sem correspondência

Conforme abordado no item anterior, os eventos que não encontraram correspondência exata com os parâmetros de classificação propostos, apesar de não terem relevante representatividade na amostra, passaram por um tratamento complementar estabelecido na presente sub-rotina. Para isso, foi feita uma comparação direta (de/para) da classificação PNCT do evento não classificado com uma correspondente classe de veículo adaptada pelo IPR mais frequente dentro daquela categoria de veículo (número de eixos).

Os dados da presente sub-rotina foram, posteriormente, agregados aos anteriores, conforme já citado no item F, para compor a base de dados final. Os dados restantes que não puderam ser classificados foram descartados. Como resultado dessa etapa, também foram exportadas bases de dados com os eventos que foram classificados utilizando a sub-rotina e os eventos descartados, para que se pudesse analisar a representatividade da quantidade de cada ocorrência.



G - Tratamento dos Veículos de Dois Eixos

De posse da base de dados finais, produto da sub-rotina F, foi verificada a necessidade de um tratamento complementar específico para os veículos de apenas 2 eixos. Assim, esses veículos cuja distância entre os eixos (d12) for $\leq$ a 3,5 metros foi reclassificado como “passeio”. Os demais cuja d12 foi $>$ a 3,5 metros foram classificados como “2C”.

H - Exportação dos Dados Completos

Após a finalização da sub-rotina G, procedeu-se com a exportação dos dados em formato CSV sem nenhum tipo de agrupamento, apresentando 26 parâmetros, como visto na tabela 3.

I - Exportação dos dados consolidados por classe e dia

Além da exportação dos dados completos, a base de dados final, oriunda da sub-rotina H, também foi agrupada e posteriormente exportada em formato XLSX (Excel) agrupando os eventos por data (dia/mês/ano), faixa, classificação, volume médio diário (soma de eventos) e média do Peso Bruto Total. No sentido de demonstrar a potencialidade da ferramenta, utilizou-se a BR-420/BA, um dos segmentos PRO-MeDiNa em que foi realizada a nova classificação com dados oriundos do PNCT. Na tabela 4 é apresentado um fragmento da planilha final com os veículos classificados segundo a convenção definida pelo IPR para a BR-420/BA. São apresentados o volume diário médio anual (VMDa) de tráfego para cada classe de veículo, assim como a soma do peso médio. As informações são discretizadas por faixa de tráfego e podem ser organizadas na forma de dados anuais, mensais ou diários. Desse modo, a rotina computacional implementada retorna uma classificação veicular consistente, baseada em dados obtidos em uma contagem contínua, e que é totalmente empregável para o cálculo do número de repetições do eixo-padrão (N), resultando em valores mais acurados quando comparado com a contagem manual de 7 dias usualmente empregada. Logo, a implementação dessa ferramenta é essencial tanto no âmbito do PRO-MeDiNa quanto para o estudo e elaboração de projetos rodoviários.

Tabela 3. Parâmetros retornados pela rotina computacional.

Id evento	identificação da chave primária do evento, oriundo dos dados brutos do PNCT
Data hora	data e hora do evento, oriundas dos dados brutos do PNCT
Velocidade	velocidade do veículo, oriunda dos dados brutos do PNCT
faixa	em que o evento ocorreu, englobando o número da faixa e o sentido, oriundos dos dados brutos do PNCT
tamanho_total_metros	tamanho total do veículo em metros, oriundo dos dados brutos do PNCT
classe	original do veículo, oriundo dos dados brutos do PNCT
pbt_toneladas	peso bruto total em toneladas, oriundo dos dados brutos do PNCT
eixo	número de eixos, calculado pelo algoritmo apresentado
d12	distância entre o eixo 1 e 2, calculada pelo algoritmo apresentado
d23	distância entre o eixo 2 e 3, calculada pelo algoritmo apresentado
⋮	⋮
d78	distância entre o eixo 7 e 8, calculada pelo algoritmo apresentado
d89	distância entre o eixo 8 e 9, calculada pelo algoritmo apresentado
peso1	peso do eixo 1, oriundo dos dados brutos do PNCT
peso2	peso do eixo 2, oriundo dos dados brutos do PNCT
⋮	⋮
peso8	peso do eixo 8, oriundo dos dados brutos do PNCT
peso9	peso do eixo 9, oriundo dos dados brutos do PNCT
classificação	classificação final do evento, definida pelo algoritmo apresentado



Tabela 4. Resultados obtidos da rotina computacional.

VMDa						
	1C			1D		
Classe	2021	2022	2023	2021	2022	2023
2C	62	64	114	53	45	89
2S1	12	14	15	12	12	14
3C	13	29	10	11	9	10
3I2/3C2	1	1	1	1	1	1
3S3	1	1	2	2	1	3
4CD	2	2	3	2	2	3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve a intenção de apresentar as ações que estão sendo desenvolvidas no âmbito da DPP e do IPR para realização do monitoramento do programa de segmentos experimentais no DNIT denominado PRO-MeDiNa. Uma das ações em andamento, busca aprimorar e garantir o monitoramento de tráfego desses segmentos através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego - PNCT. Tendo em vista que há significativas diferenças entre a classificação do Manual de Estudos de Tráfego ou do Quadro de Fabricante de Veículos e aquela utilizada pelo PNCT, buscou-se compatibilizar essas diferenças classificando de forma manual o dado obtido na contagem permanente. Considerando, no entanto, que são milhares de dados gerados em cada posto de contagem, foi necessário o desenvolvimento de rotina computacional que pudesse reclassificar os dados oriundos dos postos do PNCT de forma automatizada. Para isso foi utilizada uma ferramenta conhecida como Alteryx Designer, que realizou o fluxo de tratamento de dados, através de nove sub-rotinas. Pelos resultados obtidos até o momento, avalia-se que os dados oriundos do PNCT são extremamente importantes, não só para os segmentos experimentais, mas também para o planejamento de investimentos e estudos de tráfego, incluindo taxa de crescimento em segmentos onde exista um posto de contagem. Em segmentos que não contem com um posto de contagem, mas que estejam situados em locais próximos, pode ser uma ótima opção para uma estimativa mais realista do volume de tráfego na região e de sua taxa de crescimento.

Para isso, propõe-se que essa rotina possa ser incluída no PNCT, de forma que a classificação seja compatível com aquela indicada nos estudos de tráfego do DNIT.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.S.S.; SÃO MATEUS, M.S.C.; LIMA, C.D.A.; COSTA, W.G.s.; achy, a.r.a. Proposta de metodologia para calibração do MeDiNa utilizando segmentos experimentais implementados em rodovias em operação. Anais - 24º ENACOR e 47ª RAPV, Bento Gonçalves/RS, 2022.

ALMEIDA, M.S.S.; ACHY, A.R.A.; COSTA, W.G.S.; SANTANA, V.R.; WARGHA FILHO, N.; ABRAMIDES, C.A.; CARMO, C.A.T.; MARQUES, G.L.O. Metodologia para determinação do tráfego rodoviário utilizando a técnica de processamento de Imagens. Anais - 25º ENACOR, Foz do Iguaçu, 2023.

BUENO, L. D. Contribuição para a previsão empírico-mecanicista da irregularidade longitudinal e seus desdobramentos econômicos em pavimentos asfálticos. 370 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2019.



CARVALHO, A.P.; SANTOS, I.G.; PINTO, J.M.A.; NASCIMENTO, J.F. ANÁLISE DA MARGEM DE ERRO DO VOLUME MÉDIO DIÁRIO – VMD ESTIMADO COM BASE EM PESQUISAS DE TRÁFEGO DE CURTA DURAÇÃO. XXIX ANPET, Ouro Preto, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Publicação IPR -723 – Manual de Estudos de Tráfego, Rio de Janeiro, 2006.

_____. Publicação IPR – 749 – Guia para execução de segmentos experimentais – PRO-MeDiNa, 1ª Edição, Brasília, 2020.

_____. PNCT - PLANO NACIONAL DE CONTAGEM DE TRÁFEGO. 2024. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Inicio/institucional>>. Acessado em: 28/04/2024.

_____. Quadro de Fabricantes de Veículos, Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf>. Acessado em 26/04/2024