

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DOS FATORES CONTRIBUINTES PARA TOMBAMENTOS DE CARRETAS NO RETORNO DA BR-040 COM RODOVIA RIO - MAGÉ: DESAFIOS E SOLUÇÕES

Eduardo Damasceno de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso 2025/2, curso de Engenharia Civil
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso
eduardo.d.oliveira@icloud.com

Emerson Clay Costa Guimarães de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso 2025/2, curso de Engenharia Civil
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso
emersonclay.engprod@gmail.com

Jucelene Ramos da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso 2025/2, curso de Engenharia Civil
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso
jucelene.silva@live.com

Rachel Cristina Santos Pires

Mestre em Desenvolvimento Local, Engenharia Civil
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso
rachelpireseng@gmail.com

Everton Rangel Bispo

Professor Doutor em Engenharia de Materiais e Processos Metalúrgicos
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso
evertonbispo@souunisuam.edu.br

Igor Charlles Siqueira Leite

Doutor em Engenharia Civil
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, unidade Bonsucesso
igor.leite@unisiam.edu.br

RESUMO

O tombamento de veículos de carga (carretas) representa um grave problema de segurança viária no Brasil, com impactos financeiros, sociais e logísticos. Este trabalho de conclusão de curso analisa os fatores contribuintes para a alta frequência de sinistros dessa natureza na alça de retorno 108-D, que interliga a BR-040 à rodovia Rio-Magé, no estado do Rio de Janeiro. O objetivo principal é diagnosticar as causas técnicas que levam aos tombamentos e propor soluções de engenharia para mitigar o problema. A metodologia adotada incluiu uma revisão bibliográfica focada em manuais de projeto geométrico do DNIT e literatura de engenharia rodoviária, análise de dados cartográficos via satélite, inspeções visuais in loco e um estudo técnico comparativo dos parâmetros geométricos da curva. Os resultados da análise

técnica demonstraram uma incompatibilidade crítica entre o projeto executado e os padrões de segurança normativos: a curva apresenta um raio de 50 metros, enquanto a velocidade máxima permitida de 50 km/h exigiria um raio mínimo de 82,3 metros para garantir a estabilidade dinâmica dos veículos pesados. Conclui-se que a principal causa dos acidentes é essa falha geométrica, e são propostas duas soluções de intervenção: (1) a redução da velocidade máxima permitida na alça para 40 km/h, adequando-a ao raio existente, ou (2) a readequação geométrica da alça, aumentando o raio para o mínimo normativo de 82,3 metros.

Palavras-chave: Segurança Viária, Projeto Geométrico, Tombamento de Veículos, BR040, Engenharia Rodoviária.

INTRODUÇÃO

O tombamento de carretas nas vias brasileiras representa uma séria questão que gera impactos negativos nos âmbitos financeiro, ambiental e social. Na ligação da BR-040 com a rodovia Rio-Magé, essa modalidade de sinistro é um problema recorrente, afetando diretamente a fluidez do trânsito e a proteção de motoristas e residentes locais. O design geométrico e o volume de veículos do trecho impõem um obstáculo considerável aos condutores de caminhões, especialmente durante as manobras de retorno.

Neste trabalho, serão investigados os fatores etiológicos desses tombamentos, incluindo a conformação do traçado viário, o estado de conservação da pista, as práticas dos condutores e as características intrínsecas dos veículos pesados. Abordaremos a fundamentação teórica relacionada à administração de projetos rodoviários, conforme preconizado por autores clássicos como Pontes Filho (1998) e SENÇO (1980), e efetuiremos os cálculos para verificar a curva empregada no segmento em pauta.

A finalidade primordial deste projeto é definir e apresentar as peças construtivas elementares das estradas, utilizando como objeto de estudo a alça de retorno 108-D. Espera-se que esta análise forneça subsídios para a sugestão de ações de engenharia que possam reduzir a frequência desses eventos, elevando a segurança e o desempenho do tráfego na seção da rodovia.

A identificação desses determinantes é vital para a concepção de intervenções que atenuem os perigos e os prejuízos decorrentes. A base metodológica inclui a revisão de literatura (Manuais do DNIT), o emprego de cálculos a partir de dados cartográficos e inspeções in loco, e o uso de informações oficiais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e demais organismos fiscalizadores e de pesquisa.

DESENVOLVIMENTO

Definição de rodovias e como são construídas

As rodovias, ou estradas de rodagem, são estruturas viárias essenciais, projetadas para permitir a movimentação de pessoas e cargas entre localidades distintas. Elas suportam o deslocamento de veículos automotores como carros, ônibus, motos e caminhões. Esta infraestrutura é vital para a eficácia do transporte e para a conectividade regional.

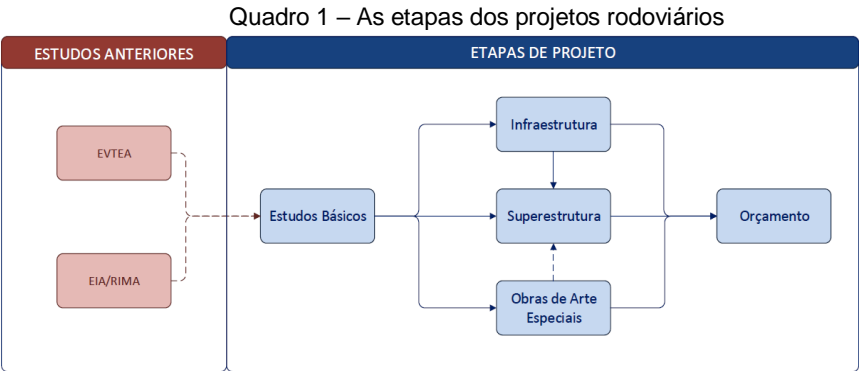
O planejamento é o alicerce de qualquer projeto rodoviário. O "Guia de Análise de Projetos Rodoviários" (DNIT, 2018) estabelece um fluxo processual que se inicia com os Estudos Básicos, seguindo para as fases de Infraestrutura, Superestrutura, Obras de Arte Especiais (OAE) e, finalmente, Orçamento. O guia normatiza, ainda, que nenhuma dessas etapas de projeto deve começar antes da conclusão dos estudos de viabilidade (EVTEA - Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental) e de impacto ambiental (EIA/RIMA).

Os Estudos Básicos são focados em coletar as informações que subsidiarão as fases seguintes do projeto. Segundo o DNIT (2018), esta etapa envolve um conjunto de investigações, que incluem sondagens geológicas e geotécnicas, análises hidrológicas (tanto para a via quanto para as OAE), levantamentos topográficos e estudos de tráfego. É também nesta fase que se define a "Diretriz da Estrada", ou seja, o melhor traçado para o alinhamento da rodovia.

A função da infraestrutura é conformar o terreno natural às exigências geométricas do projeto, o que é vital para a segurança e vida útil do pavimento. Conforme detalha Pontes Filho (1998), este processo é composto por serviços essenciais, como a terraplenagem (que estabelece o greide final), a proteção de taludes, os sistemas de drenagem subterrânea e a construção de obras de arte correntes.

A etapa de Superestrutura oferece o suporte para um tráfego confortável e seguro. Essa camada (pavimento) é fundamental na distribuição do peso dos veículos, minimizando o desgaste (DNIT, 2018). A qualidade da pavimentação asfáltica, por exemplo, é um campo de estudo extenso, como detalhado por Bernucci et al. (2008), e impacta diretamente a longevidade da via e a segurança da rodagem.

As Obras de Arte Especiais (OAE) são estruturas como pontes, viadutos e túneis, que permitem a superação de obstáculos naturais (DNIT, 2018).



Fonte: DNIT. Guia de análise de projetos rodoviários, P.13. (2018)

Por fim, o orçamento é o fator determinante para a viabilização da construção (DNIT, 2018). O fluxograma deste processo é ilustrado no Quadro 1.

A BR-040: Contexto histórico e estudo de caso da saída 108-D

De acordo com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a BR-040 teve a concessão do trecho Juiz de Fora/MG - Rio de Janeiro/RJ cedida à CON CER a partir de 1996. Conforme Campos e Silva (2019), no ano de 2013 o projeto do Arco Metropolitano teve o início de suas obras, totalizando 145km e perpassando por nove municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

Segundo o portal G1 (2014), com o arco, cerca de 35 mil veículos (dos quais 10 mil caminhões de carga) deixariam de passar por vias arteriais do Rio de Janeiro, impactando positivamente a logística do Porto de Itaguaí e o PIB estadual. Ao analisar o trecho da saída 108-D (Figura 1), observa-se que parte do local foi desapropriado para a ampliação da via.

Figura 1. Trecho da Saída 108-D Antes x Depois da obra (2008 x 2024)



Fonte: Google Earth – Acesso em 17 out. 2024

Atualmente, 10 anos após a inauguração, a pesquisa in loco e a análise de imagens (Figura 2) revelam que o trecho 108-D apresenta problemas de manutenção nos guarda corpos, com sinais claros de acidentes anteriores. Embora o local contenha sinalização de velocidade máxima permitida (50 km/h), os danos contínuos nos dispositivos de segurança indicam um problema sistêmico na via.

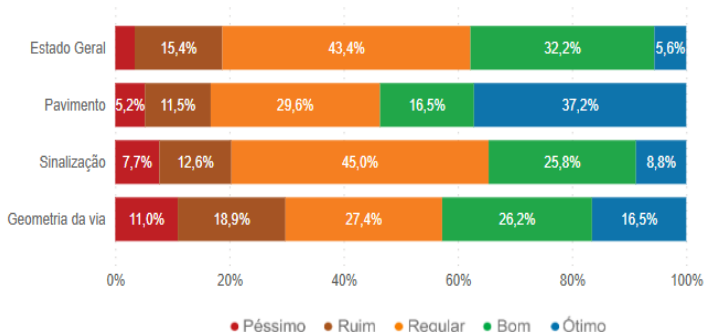
Figura 2. Trecho da saída 108-D com sinais de pontos de acidentes



Fonte: Google Earth – Acesso em 17 out. 2024

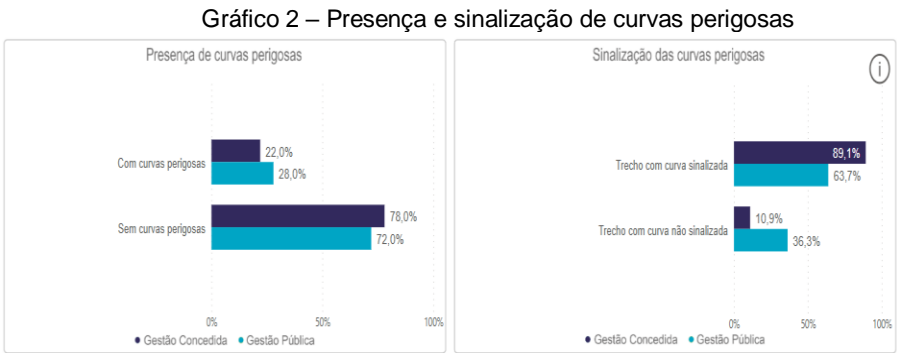
A BR-040 (gestão CONCERT) foi avaliada pela Pesquisa CNT de Rodovias (2024). Conforme o Gráfico 1, as rodovias de jurisdição federal apresentam classificações majoritariamente “Regular”, “Ruim” ou “Péssimo” (65,3%) no quesito Sinalização.

Gráfico 1 – Classificação das rodovias em Jurisdição Federal



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias 2024

O Gráfico 2 (CNT, 2024) indica que, embora as vias concedidas (como a BR-040) tenham menos curvas perigosas, a sinalização é um ponto crítico. A sinalização, apesar de relevante, não é o único fator. A segurança em curvas depende de uma tríade: sinalização, superelevação e raio (CARVALHO, 2015).”



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias 2024

A análise específica da BR-040 (Figura 3) mostra que o trecho do RJ é classificado como “Bom” em sinalização. Isso reforça a hipótese de que a sinalização (Figura 5), embora presente e adequada, não é suficiente para evitar os sinistros, sugerindo que o problema é de natureza geométrica.

Figura 3. Análise Geral da Rodovia BR-040



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias 2024

Análise do projeto de construção do trecho da saída 108-D

A BR-040 é uma rodovia radial federal. A análise técnica da alça 108-D (Figura 4) foca nos parâmetros de tráfego (Número “N”) e na geometria da curva.

Figura 4. Identificação do trecho 108-D na BR-040



Fonte: Google Earth

O cálculo do Número “N” projeta o desgaste do pavimento ao longo do tempo (DNIT, 2006a). A fórmula considera $N_{ano} = 365 \times VMD \times K \times FV' \times FR$.

Onde:

- VMD – Volume Médio Diário
- K – Fator de correção relacionado ao tipo de tráfego (Bidirecional = 0,5);
- FV' - Fator de variação relacionado ao tipo de veículo
- FR – Fator de redução / Fator de equivalência

Considerando uma taxa de crescimento de 2% ao ano e que todos os veículos trafegam com carga máxima legal, chegou-se aos seguintes resultados:

Quadro 2 – Cálculo do “N”			
Ano base	VMD	N ano	N acumulado
N_0	59221	$1,08 \times 10^7$	-
N_1	60405,42	$1,10 \times 10^7$	$2,18 \times 10^7$
N_2	61613,53	$1,12 \times 10^7$	$3,30 \times 10^7$
N_3	62845,80	$1,15 \times 10^7$	$4,45 \times 10^7$
N_4	64102,71	$1,17 \times 10^7$	$5,62 \times 10^7$
N_5	65384,77	$1,19 \times 10^7$	$6,81 \times 10^7$
N_6	66692,46	$1,22 \times 10^7$	$8,03 \times 10^7$
N_7	68026,31	$1,24 \times 10^7$	$9,27 \times 10^7$
N_8	69386,84	$1,27 \times 10^7$	$10,54 \times 10^7$
N_9	70774,58	$1,29 \times 10^7$	$11,83 \times 10^7$
N_{10}	72190,07	$1,32 \times 10^7$	$13,15 \times 10^7$

Fonte: Elaborado pelos autores

Vale ressaltar que os dados considerados fornecidos pelo PNCT são de 2018. Portanto, a projeção apresentada compreende de 2018 a 2028. Durante as pesquisas também não foi possível encontrar dados sobre o FV e FR.

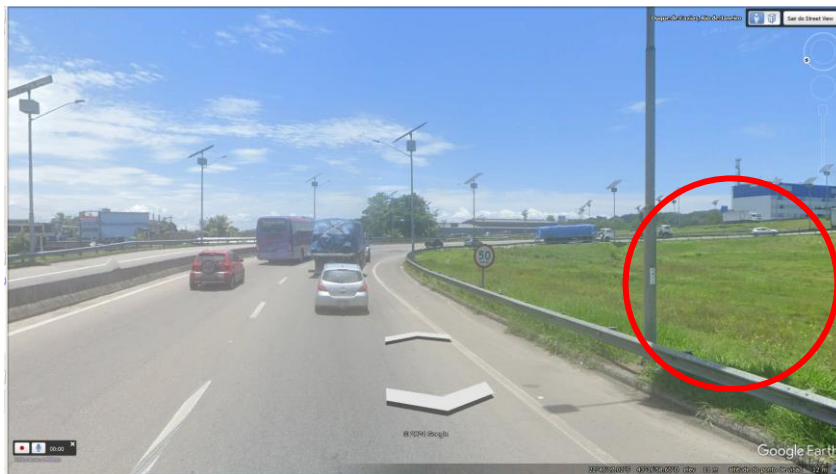
A projeção (Quadro 2) indica um tráfego pesado, mas o fator crucial para o tombamento é a geometria. A análise dos dados de projeto (Quadro 3) identificou um raio de curva executado de 50.000 mm (ou 50, 0 m)

Quadro 3 – Dados do projeto para levantamento de raio mínimo		
Ângulo da curva (AC)	Raio da curva (R)	Diâmetro da curva (D)
94,27°	50.000 mm	100.000 mm

Fonte: Elaborado pelos autores

O tombamento ocorre quando a força centrífuga supera a força estabilizadora (peso do veículo e atrito). A força centrífuga é inversamente proporcional ao raio ($F_c = m \cdot v^2/R$). Em uma curva com raio pequeno, a força centrífuga aumenta drasticamente, exigindo uma superelevação (inclinação da pista) adequada e/ou menor velocidade para manter a estabilidade (SENÇO, 1980). A via possui sinalização de 50 km/h, conforme evidenciado na Figura 5:

Figura 5. Identificação da sinalização de velocidade na via



Fonte: Google Earth – Acesso em 17 out. 2024

Contudo, ao consultar as normas do DNIT (2010), verifica-se que para uma velocidade de projeto de 50 km/h, considerando uma superelevação máxima usual para alças (em torno de 8% a 10%) e o coeficiente de atrito lateral, o raio mínimo absoluto exigido seria de aproximadamente 82,3 metros. A análise, portanto, expõe a falha central: o raio executado (50,0 m) é significativamente menor que o raio mínimo normativo (82,3 m) para a velocidade permitida (50 km/h).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso se propôs a analisar os fatores técnicos que contribuem para a alta recorrência de tombamentos de carretas na alça de retorno 108- D, na interseção da BR-040 com a rodovia Rio-Magé. A investigação metodológica, que combinou análise de dados, inspeção visual e revisão de normas técnicas de engenharia rodoviária, permitiu diagnosticar a causa principal dos sinistros.

O estudo concluiu que existe uma incompatibilidade técnica crítica entre a geometria da via executada e a velocidade de operação permitida. O raio da curva existente é de 50,0 metros, enquanto a velocidade máxima sinalizada na via é de 50 km/h.

Conforme as diretrizes do DNIT (2010), para que um veículo, especialmente um de carga com centro de gravidade elevado, trafegue a 50 km/h com segurança e estabilidade dinâmica, o raio mínimo da curva deveria ser de 82,3 metros. Inversamente, para manter o raio atual de 50,0 metros, a velocidade máxima segura deveria ser reduzida para 40 km/h, de modo a diminuir a força centrífuga atuante sobre os veículos.

Dadas essas descobertas, este trabalho propõe duas ações primárias e excludentes para a mitigação imediata dos acidentes:

Proposta 1 (Intervenção de Sinalização): Reduzir o limite de velocidade da alça de 50 km/h para 40 km/h. Esta solução adequa a operação da via à geometria existente, sendo a medida de menor custo e implementação mais rápida.

Proposta 2 (Intervenção Estrutural): Realizar uma obra de readequação geométrica da alça, aumentando o raio da curva de 50, 0 metros para, no mínimo, 82, 3 metros. Esta solução permite manter a velocidade operacional de 50 km/h e representa a correção definitiva do projeto.

É fundamental complementar qualquer uma dessas ações com a intensificação da sinalização de advertência (placas de “Curva Acentuada” e velocidade) e a manutenção preventiva dos guarda-corpos, elementos essenciais para assegurar a proteção dos motoristas e diminuir a estatística de sinistros no local. Este estudo evidencia a importância do rigor técnico e do estrito cumprimento das normas de projeto geométrico para a garantia da segurança viária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.

CAMPOS, C. H. de., e SILVA, J. M. P. da. Arco Metropolitano do Rio de Janeiro: as incongruências dominantes. ENANPUR. Natal, 2019. Disponível em:

<https://xviiienanpur.anpur.org.br/anaisadmin/capapdf.php?reqid=951#:~:text=Arco%20Metropolitano%20do%20Rio%20de%20Janeiro%3A%20as%20incongru%C3%Aancias%20dominantes.,-Autores%3A&text=Resumo%3A,para%20as%20demais%20escalas%20nacionais. Acesso em 30 set. 2024.>

CARVALHO, T. L. **Manual de segurança e sinalização rodoviária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2024**. Brasília:

CNT, 2024. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/cbf59b9e-fd1a-41fc-b230-172c4dc42100>

. Acesso em: 17 out. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: IPR, 2006. (Publicação 723).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários: escopos básicos/instruções de serviço**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. (Publicação 726).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários: instruções para apresentação de relatórios**. Rio de Janeiro: IPR, 2006. (Publicação 727).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Projeto geométrico: Projeto em planta e perfil da Est. 0+0.00 A. EST. 70+0.00 Pista Principal**. [S.l.], 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Rio de Janeiro: IPR, 2010. (Publicação 742).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Guia de análise de projetos rodoviários**. Versão beta V.3. Rio de Janeiro: IPR, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Quadro de fabricantes de veículos**. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodovitarias/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf> . Acesso em 29 nov. 2024.

FRAENKEL, B. B. Engenharia rodoviária. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

G1. "RJ inaugura Arco Metropolitano após 40 anos e espera PIB R\$ 1,8 bi maior." G1, 01 set. 2014, <https://glo.bo/1x9q4Zd> . Acesso em 17 out. 2024.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Imagens de satélite do trecho da BR-040, saída 108-D. Acesso em: 17 out. 2024.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem: projeto geométrico**. São Paulo: IPC-PIH, 1998.

SENÇO, W. de. **Estradas de rodagem: projeto**. São Paulo: USP/Escola Politécnica, 1980.