

REVISTA

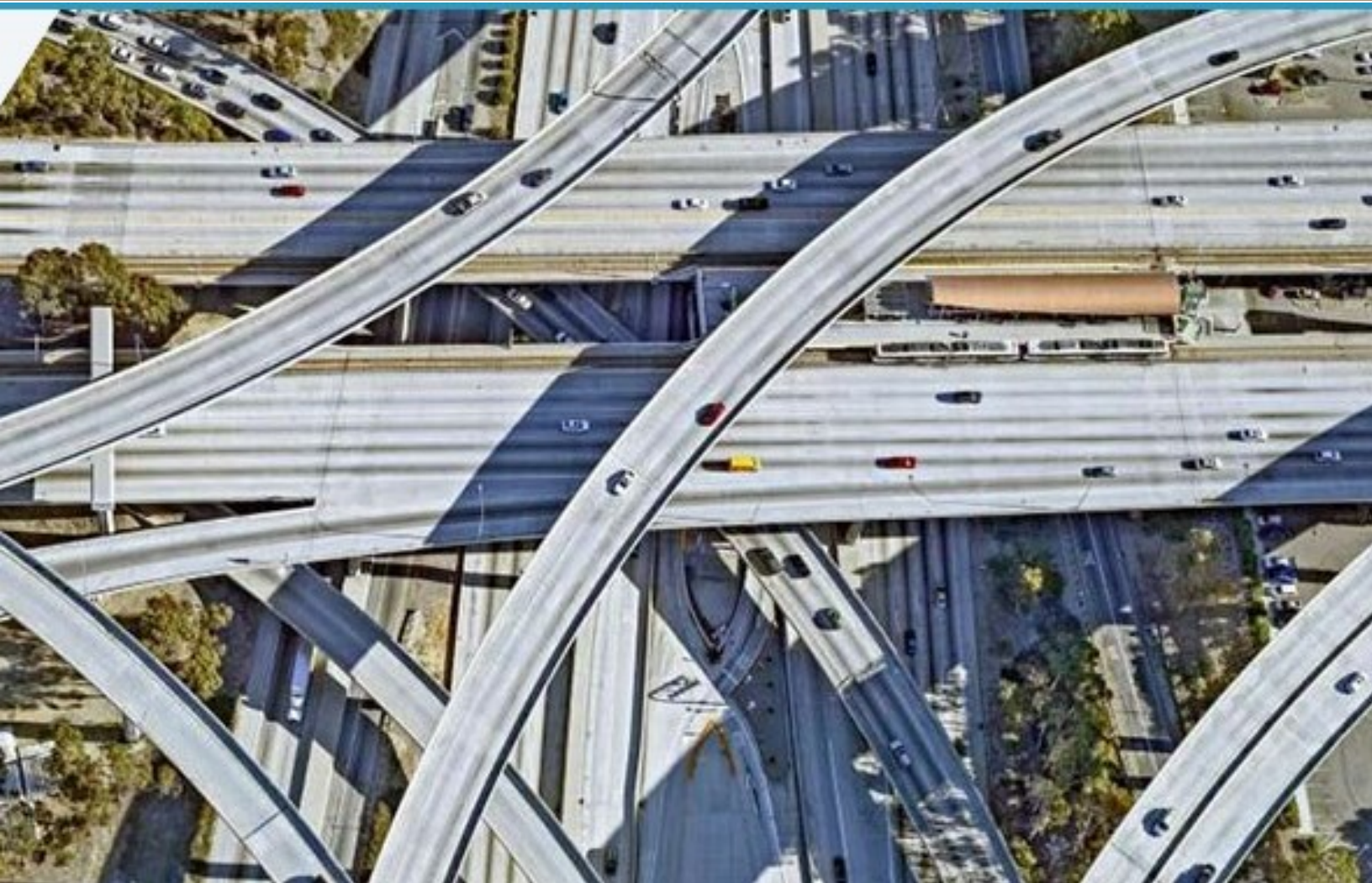
ABPV

Associação Brasileira de Pavimentação



PAVIMENTAÇÃO

ANO XIII • Nº 48 • ABR - JUN • 2018 • WWW.ABPV.ORG.BR • ISSN 1809 - 1865



Estimativa dos Efeitos da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos Rodoviários Utilizando o HDM-4

Rosuel Assis, Anthony Gomes dos Santos e José Leomar Fernandes Júnior

EXPEDIENTE



REVISTA PAVIMENTAÇÃO

Ano XIII • Nº 48 - Abril - Jun 2018

ISSN 1809 - 1865

Rua Miguel Couto, 105 • Sobrelajeas 204 e 205

CEP 20070-030 • Rio de Janeiro • RJ

Tel • (21) 2233-2020 | 2263-5794 Fax • (21) 2233-0709

CONSELHO EDITORIAL

Diretoria da ABPv

Georgina Libório Azevedo
georgina@abpv.org.br
MTb 31365-RJ

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Jean Pierre M. Santiago
jpierrem@abpv.org.br
MTb 27170-RJ

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

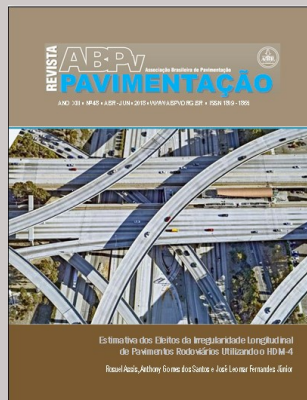
Presidente • Eng. Eduardo Alberto Ricci
Vice-Presidente • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa
Diretor Financeiro • Eng. Leonardo Santana Cavalcanti
Diretor Administrativo • Eng. Fernando Augusto Junior
Diretora Técnica • Prof. Michéle Dal Tóe Casagrande
Diretor de Divulgação • Prof. Luiz Miguel de Miranda

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto • Eng. Antônio Fortunato Marcon • Eng. Armando Morilha Junior • Eng. Atahualpa Schmitz da S. Prego • Eng. Ben-Hur de Albuquerque e Silva • Eng. Carlos Yukio Suzuki • Eng. Cassio Eduardo Lima de Paiva • Eng. Consuelo Alves da Frota • Eng. Cristiano da Costa Moreira • Eng. Djalma Rocha A. M. Pereira • Eng. Douglas Fadul Villibor • Eng. Edinaldo Afonso M. de Mélo • Eng. Eduardo Alberto Ricci • Eng. Fernando Augusto Junior • Eng. Genésio Almeida da Silva • Arq. Gilda Collet Bruna • Eng. Glicério Trichês • Eng. Heitor Roberto Giampaglia • Eng. Jacques de Medina • Eng. João Vicente Falabella Fabrício • Eng. João Virgílio Merighi • Eng. Jorge Augusto Pereira Ceratti • Eng. José Pedro dos S. Vieira Costa • Eng. José Leomar Fernandes Junior • Eng. José Tadeu Balbo • Eng. José Vidal Nardi • Eng. Laura Maria Goretti da Motta • Eng. Leni F. M. Leite • Eng. Leto Momm • Eng. Liedi Legi B. Bernucci • Eng. Luciana Nogueira Dantas • Eng. Luiz Miguel de Miranda • Eng. Marcello Roberto Rangel Pestana • Eng. Márcio Muniz de Farias • Eng. Marcílio Augusto Neves • Eng. Maria da Conceição M. Azevedo • Eng. Michéle Dal Toé Casagrande • Eng. Nilton de Souza Campelo • Eng. Paulo Romeu Assunção Gontijo • Eng. Pre-predigna D. E. Almeida da Silva • Eng. Rita Moura Fortes • Eng.º Rui José da Silva Nabais • Eng. Silvio Rodrigues Filho • Eng. Saul Birman • Eng. Valmir Bonfim • Eng. Walter Canales Sant'ana • Eng. Washington Pérez Nuñez.

Periodicidade • Trimestral

NOSSA CAPA



HDM4 - www.hdmglobal.com

Envie sua foto para: abpv@abpv.org.br

SUMÁRIO

EDITORIAL 3

CADERNO DE TECNOLOGIA

SINGULARIDADE 5

ARTIGO 1

ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS UTILIZANDO O HDM-4. 18

Rosuel Assis, Anthony Gomes dos Santos e José Leomar Fernandes Júnior

ARTIGO 2

SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA SEM DORMENTES E LASTRO: UMA NOVA CONCEPÇÃO 33

Rui José da Silva Nabais

EDITORIAL

A Associação Brasileira de Pavimentação apresenta o Caderno de Tecnologia SINGULARIDADE e dois artigos técnicos nesta 48ª edição, sendo eles:

- **ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS UTILIZANDO O HDM-4 LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS UTILIZANDO O HDM-4** estima os custos de operação dos veículos (COVs) de um trecho rodoviário em diferentes níveis de irregularidade longitudinal do pavimento, fazendo uso do software HDM-4 (Highway Development and Management) para a realização das simulações. É recomendado pelos autores o aprofundamento nos estudos que caracterizam o comportamento dos componentes dos veículos em função do estado de conservação dos pavimentos rodoviários, de modo a aumentar a confiança nos resultados obtidos tanto na determinação real, como na calibração do próprio HDM-4. Os autores são: Rosuel Assis, Anthony Gomes dos Santos e José Leomar Fernandes Júnior .
- **SUPERESTRUTURA FERROVIÁRIA SEM DORMENTES E LASTRO: UMA NOVA CONCEPÇÃO** mostra alguns aspectos práticos de uma solução para superestrutura ferroviária técnica e economicamente viável que vem sendo adotada a partir de experiências na África do Sul, há mais de 30 anos e disseminada depois para outros países, eliminando o uso de dormentes convencionais e lastro de pedra britada, com vantagens ambientais, bem como de redução de custo e prazo de implantação e simplificando a manutenção da via de autoria de Rui José da Silva Nabais.

O envio de artigos, notas técnicas e temas para o Caderno de Tecnologia são aguardados para avaliação e possível publicação.

A Revista Pavimentação é um instrumento disseminador de informações concernentes ao desenvolvimento do nosso país. Participe através do link de submissão que se encontra no site www.abpv.org.br.

Conselho Editorial



CADERNO DE TECNOLOGIA

Francisco José d'Almeida Diogo
Professor assistente do Instituto Militar de Engenharia

SINGULARIDADE

1. Introdução



Figura 1 – Experimento em modelo reduzido¹



Figura 2 – Confluência que inicia o Rio Los Angeles, EUA

Singularidade é uma ocorrência em um segmento de canal ou galeria com especificidade hidráulica distinta que, em geral, requer modelagem experimental (Figura1). Entretanto, toda singularidade é estudada empregando as seguintes equações gerais (adaptado de FCTH, 1999):

$$\sum Q_{(1-2)} = 0 \quad \text{Eq.1} \quad \text{Conservação da massa (continuidade)}$$

$$\sum E_{(1-2)} = 0 \quad \text{Eq.2} \quad \text{Conservação da energia}$$

$$\sum F_{\text{ext}(1-2)} = \sum (\rho \times Q_{(1-2)} \times V_{(1-2)}) \quad \text{Eq.3} \quad \text{Quantidade de movimento}$$

Onde: (em relação à singularidade)

- - - - -
- 1-2 - seção: 1 - a montante, 2 - a jusante;
- $Q_{(1-2)}$ - vazão;
- $E_{(1-2)}$ - nível de energia;
- ρ - massa específica da água;
- $V_{(1-2)}$ - velocidade projetada na direção x (geralmente do canal) e, y (perpendicular a x);
- $\rho \cdot Q_{(1-2)} \cdot V_{(1-2)}$ - quantidade de movimento, segundo x e y ;
- $F_{\text{ext}(1-2)}$ - resultante das forças de contato e de campo em torno do volume de controle que envolve a singularidade, segundo x e y .

2. Objetivo e características

A singularidade ocorre em transições de canais e galerias com dispersão ou junção de fluxos e mudanças de: seção, direção, nível e declividade. Na maior parte das circunstâncias busca-se: reduzir riscos de erosão, abrasão, cavitação e sobre-elevação, ou seja: mitigar ocorrência indesejável ao escoamento. São exemplos de singularidade: confluência, bifurcação, emboque (*boca*), desembocque, alargamento ou estreitamento de seção, rebaixamento de nível, mudança de direção (*curva*), dissipador de energia e pilar de ponte (os três últimos tratados em outra instância).

3. Singularidades básicas

3.1 Emboque em nível

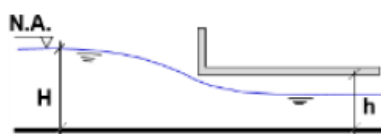


Figura 3 – Boca em nível

Conduto livre ou canal, é aquele onde o escoamento apresenta a superfície livre exposta à pressão atmosférica. Uma boca é calculada como conduto livre se o nível a montante estiver até 1,2 vezes a altura da entrada ($H \leq 1,2h$).

¹Disponível em: <http://em.fis.unam.mx/public/mochan/soloparaingenieros/oy5ut8kvna.jpg> Acesso em 10 mar. 2018.

Caso o fluxo chegue em regime supercrítico, tem-se ondas estacionárias superficiais na entrada que produzem aumento do nível d'água e podem resultar no escoamento em conduto forçado.

A perda de carga no emboque depende muito das condições geométricas de entrada. Sendo favoráveis se flui na mesma direção do canal receptor e a geometria da seção de entrada minimize perdas de carga significativas no acesso do fluxo. O alargamento gradual é o mais eficiente, mas não ocorre ganhos significativos em expansões superiores a 1:4 (FCTH, 1999).

3.2. Emboque em queda

O início de uma galeria pode ocorrer superiormente e neste caso se dá por um vertedor. O seu dimensionamento é obtido pela Equação 4.

$$Q = C_d \cdot L \cdot (2 \cdot g \cdot H^3)^{0,5}$$

Eq.4

Onde:

Q – vazão de projeto.

C_d – coeficiente de descarga:

$0,385$ (soleira espessa) $\leq C_d \leq 0,49$ (soleira normal)

H – altura de carga referida à crista vertente (Fig. 4).

L – comprimento da crista do vertedor.

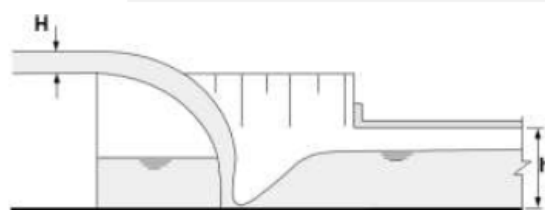


Figura 4 – Emboque em queda

3.3. Expansão abrupta (adaptado de FHWA, 2006)²

Com energia potencial a montante maior e sem limite lateral no alargamento, a velocidade da água aumenta muito rapidamente e deve ser avaliada na proteção da expansão abrupta. Considerando o ângulo (ϑ) da parede lateral na saída com o eixo da galeria, a transição é suposta abrupta quando a $\tan \theta$ é maior que $1/3Fr$ (Figura 5).

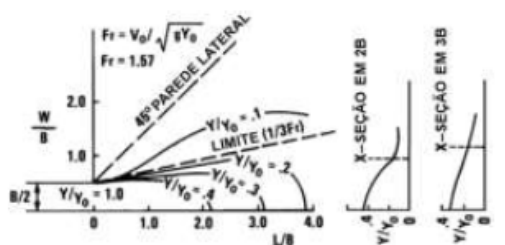


Figura 5 – Contornos d'água - adimensional

Onde:

Y_0 – profundidade d'água na borda do duto.

Y – profundidade d'água a jusante da transição.

Fr – número de Froude.

B – largura do conduto, a montante.

W – largura do contorno do fluxo d'água, a jusante.

Uma estimativa conservadora do cálculo da velocidade na saída usa a equação de energia e considera as perdas insignificantes.

Watts (1968) desenvolveu a Equação 5 (seção retangular) e a Equação 6 (seção circular) que determinam com muita precisão as condições do fluxo de saída na transição.

² Para o caso de estreitamento, como transição de seção, tem-se o tópico 3.4.

$$V_A/V_0 = 1,65 - 0,3Fr$$

Eq.5 Onde:

$$V_A/V_0 = 1,65 - 0,45Q/(gD^5)^{0,5}$$

Eq.6

V_A – velocidade a jusante da transição (m/s)
 V_0 – velocidade na borda, ao sair do bueiro (m/s)

A Figura 6 associa o número de Froude (de 1 a 3) ou $Q/(gD^5)^{0,5}$ com a relação Y_A/Y_0 . Normalmente, o nível d'água abaixa na saída do duto e ocorre o regime supercrítico.

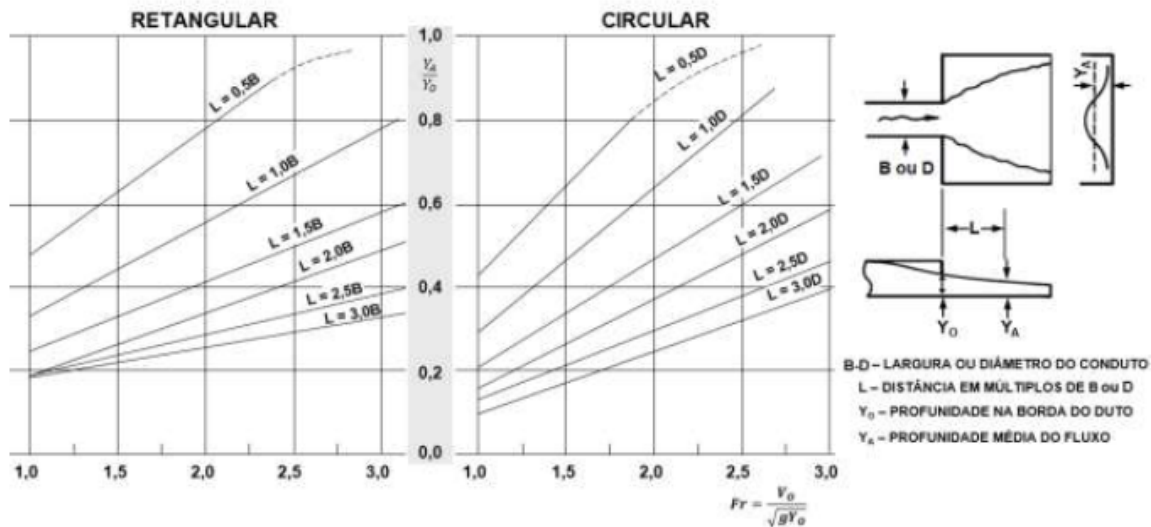


Figura 6 – Profundidade média na expansão abrupta em saída de conduto retangular ou circular

Ao expandir-se, a maior parte do fluxo permanecerá dentro de uma faixa com limites definidos por:

$$\theta = \tan^{-1}(Fr/3) \quad \text{Eq.7}$$

A largura a jusante, W_2 , é dada por:

$$W_2 = W_0 + 2L \tan \theta_w \quad \text{Eq.8}$$

Onde:

W_2 – largura do avental a jusante (m).
 L – distância a jusante da saída do bueiro (m).
 θ_w – ângulo de alargamento da borda lateral do fluxo.

Se $\theta_w > \theta$, deve-se reduzir θ_w para θ . Conforme mostrado na Figura 5, ultrapassar a linha lateral de $1/3Fr$ cria um espaço com ocupação irrelevante, praticamente inútil.

Tabela 1 – Roteiro de cálculo

Ord.	Obter	Observação
1	V_0 e y_0	Na saída do conduto.
2	$Fr = V_0 / (g y_0)^{0,5}$	Na saída do conduto.
3	$\theta = \tan^{-1}(Fr / 3)$	Equação 7. Se ângulo da lateral escolhida $\theta_w > \theta$, fazer $\theta_w = \theta$.
4	Y_A/Y_0	Figura 6.
5	V_A	Equação 5, se retangular ou Equação 6, se circular.
6	W_2	Equação 8.
7	Y_2	Se usou θ na Equação 8 => $Y_2 = Q/(V_A W_2)$, Se usou θ_w na Equação 8, Estimar $W_A = Q/(V_A Y_A)$, Se $W_A < W_2$ => $Y_2 = Y_A$, se não => $Y_2 = Q/(V_A W_2)$

3.4. Transição de seção (adaptado de FHWA, 2006)

No cálculo de estreitamento ou alargamento de seção, considera-se inicialmente o regime de escoamento a montante do encontro (subcrítico ou supercrítico).

3.4.1 Transição em fluxo subcrítico

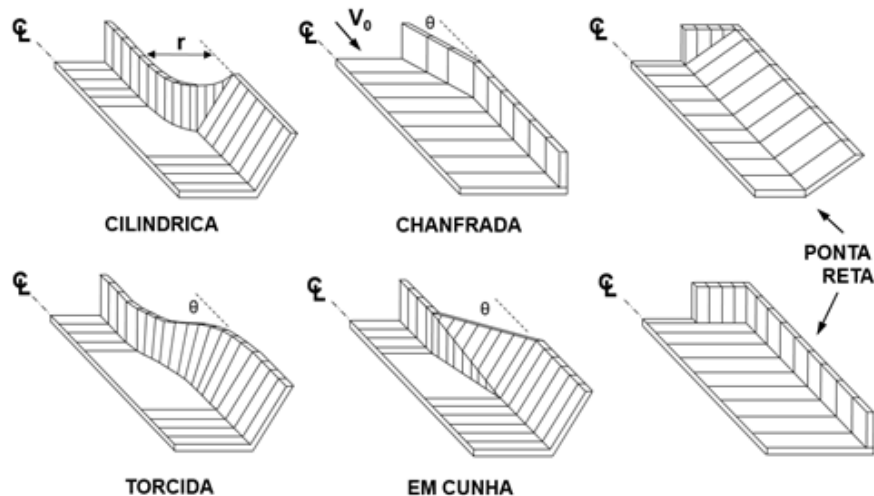


Figura 7 – Tipos de Transição (tradução do autor)

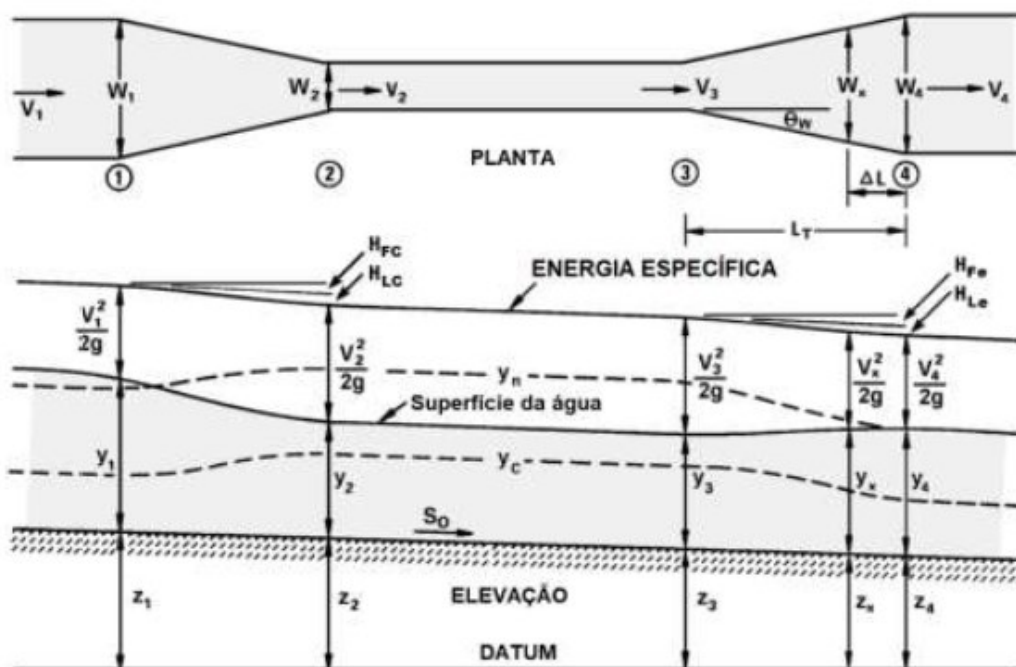


Figura 8 – Transição em fluxo subcrítico (adaptado de FHWA, 2006)

H_{LC} - Energia perdida na contração

$$H_{LC} = C_c \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad \text{Eq.9}$$

H_{LE} - Energia perdida na expansão

$$H_{LE} = C_E \left(\frac{V_3^2}{2g} - \frac{V_4^2}{2g} \right) \quad \text{Eq.10}$$

Os coeficientes C_c e C_e são obtidos na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Coeficientes de perda na transição (USACE, 1994)

Tipo de Transição	Coeficiente	
	Contração C_c	Expansão C_e
Torcida	0,1	0,2
Ponta cilíndrica	0,15	0,25
Em cunha	0,3	0,5
Ponta chanfrada		
Ponta reta		0,75

Cálculo da altura d'água a montante da contração (y_1)

$$De \sum E_{(3-4)} = 0 \Rightarrow z_2 + y_2 + v_2^2/2g + H_{Lc} + H_{Fc} = z_1 + y_1 + v_1^2/2g \quad \text{Eq.11}$$

$H_{F(c-e)}$ - perda por atrito considerada insignificante ($= 0$)

Como:

$$v_2 = \frac{Q}{W_2 y_2} \quad \text{Eq.12} \qquad v_1 = \frac{Q}{W_1 y_1} \quad \text{Eq.13}$$

Tem-se:

$$z_2 - z_1 + y_2 + (1 + C_c) \frac{\left(\frac{Q}{W_2} y_2\right)^2}{2g} = y_1 + (1 + C_c) \frac{\left(\frac{Q}{W_1} y_1\right)^2}{2g} \quad \text{Eq.14}$$

Substituindo os valores conhecidos na equação anterior ela se reduz a:

$$C_3 = y_1 + \frac{C_1}{y_1^2} \quad \text{Eq.15}$$

que é resolvida de forma iterativa.

Cálculo da altura d'água a montante do alargamento (y_3)

$$De \sum E_{(3-4)} = 0 \Rightarrow z_4 + y_4 + v_4^2/2g + H_{Le} + H_{Fe} = z_3 + y_3 + v_3^2/2g \quad \text{Eq.16}$$

$H_{F(c-e)}$ - perda por atrito considerada insignificante ($= 0$)

Como:

$$v_3 = \frac{Q}{W_3 y_3} \quad \text{Eq.17} \qquad v_4 = \frac{Q}{W_4 y_4} \quad \text{Eq.18}$$

Tem-se:

$$z_4 - z_3 + y_4 + (1 - C_e) \frac{\left(\frac{Q}{W_4} y_4\right)^2}{2g} = y_3 + (1 - C_e) \frac{\left(\frac{Q}{W_3} y_3\right)^2}{2g} \quad \text{Eq.19}$$

Substituindo os valores conhecidos na equação anterior ela se reduz a:

$$C_1 = y_3 + \frac{C_2}{y_3^2} \quad \text{Eq.20}$$

que é resolvida de forma iterativa.

3.4.2. Transição em fluxo supercrítico

a) Supercrítico com contração de fluxo

O fluxo supercrítico causa muitas perturbações e, sendo possível, a seção transversal deve ser mantida. Uma transição suave exige uma estrutura maior do que no caso subcrítico e não deverá ser implantada a menos que ela seja imprescindível.

Se não se admite um ressalto hidráulico, deve-se estudar um modelo em laboratório. Caso se admita um ressalto hidráulico, a estrutura de entrada pode ser como a mostrada no esquema a seguir. Ela é realizada em um canal retangular com uma transição longa.

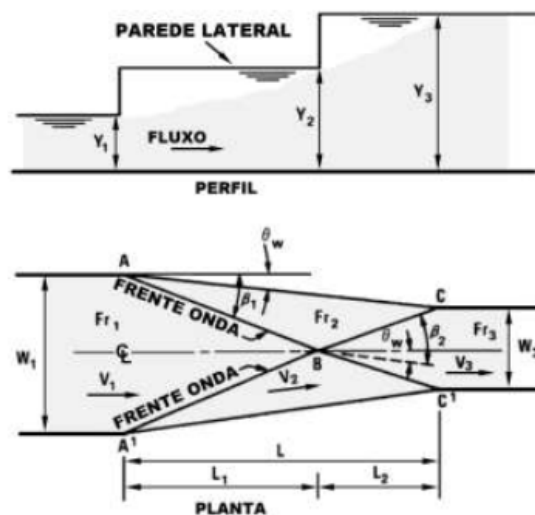


Figura 9 – Esquema de transição de entrada supercrítica para canal retangular (adaptado de FHWA, 2006)

A solução geométrica dessa transição começa com uma estimativa do ângulo de deflexão θ_w .

Considera-se que os parâmetros de montante (y_1 , W_1 , Fr_1) e a largura de canal a jusante W_3 são conhecidos (caso tenha-se que obter W_3 o método também é o de tentativa e erro).

Para minimizar as perturbações deve-se ter $L = L_1 + L_2$, como na Figura 9. O valor de L obtido pela Equação 21 é comparado com as medidas L_1 e L_2 resultantes das Equações 22 e 23.

Onde:

$$L = \frac{W_1 - W_3}{2 \tan \theta_w} \quad \text{Eq.21} \qquad L_1 = \frac{W_1}{2 \tan \beta_1} \quad \text{Eq.22} \qquad L_2 = \frac{W_3}{2 \tan(\beta_2 - \theta_w)} \quad \text{Eq.23}$$

Os ângulos β_1 e β_2 são alcançados, por tentativa e erro, com as Equações 24 e 25, a seguir:

$$\tan \theta_w = \frac{\tan \beta_1 \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2 \sin^2 \beta_1} - 3 \right)}{2 \tan^2 \beta_1 + \sqrt{1 + 8Fr_1^2 \sin^2 \beta_1} - 1} \quad \text{Eq.24} \qquad \tan \theta_w = \frac{\tan \beta_2 \left(\sqrt{1 + 8Fr_2^2 \sin^2 \beta_2} - 3 \right)}{2 \tan^2 \beta_2 + \sqrt{1 + 8Fr_2^2 \sin^2 \beta_2} - 1} \quad \text{Eq.25}$$

Para encontrar o valor do número de Froude na seção 2, utilizar a Equação 27, após empregar a Equação 26, que fornece o valor de y_2 :

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2 \sin^2 \beta_1} - 1 \right) \quad \text{Eq.26} \qquad Fr_2^2 = \frac{y_1}{y_2} \left[Fr_1^2 - \frac{y_1}{2y_2} \left(\frac{y_2}{y_1} - 1 \right) \left(\frac{y_2}{y_1} + 1 \right)^2 \right] \quad \text{Eq.27}$$

Se θ_w foi bem estimado resulta em $L = L_1 + L_2$. Se não, estimar outro θ_w e repetir o processo.

Após isso, a profundidade, y_3 e Fr_3 são calculadas usando as Equações 26 e 27 com os subscritos acrescidos em 1; isto é: y_2/y_3 , Fr_1 e β_1 passam a y_3/y_2 , Fr_2 e β_2 .

a) Supercrítico com expansão de fluxo

O projeto de expansão de fluxo supercrítico é como na expansão abrupta, item 3.3, se:

- 1) o número de Froude for menor do que 3 ($Fr < 3$);
- 2) o fluxo na expansão encontrar-se na faixa de 3 diâmetros; e
- 3) a declividade a montante for menor que 10%.

3.5 Rebaixamento de nível em degrau (adaptado de Fendrich, 1997)

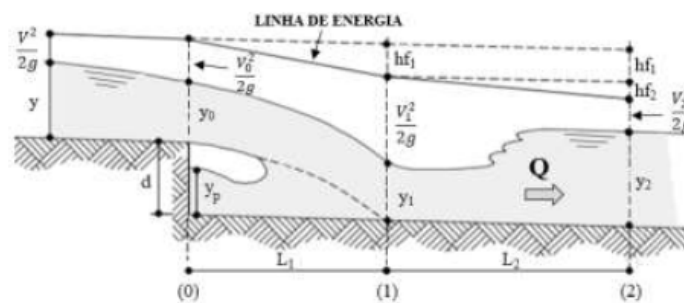


Figura 10 – Degrâu em canal

A montante e a jusante do degrau deve-se projetar declividades subcríticas.

Tendo um ressalto hidráulico logo após a seção (1) $y_2 = y_0$, como de experiências $y_0 = 0,7y_1$, e a partir da Equação 2, conservação da energia, chega-se à Equação 28, que calcula o degrau (d).

$$d = 0,428y_0 + \frac{1}{g}(V_1^2 + 0,49V_0^2 - 1,7V_1V_0) \quad \text{Eq.28}$$

Onde:

d – altura do degrau

y_0 – profundidade de escoamento na seção (0)

V_0 – velocidade de escoamento na seção (0)

V_1 – velocidade de escoamento na seção (1)

b – largura do fundo do canal

Na Equação 28, V_0 e y_0 são conhecidos. Para obter V_1 é necessário calcular y_1 pela expressão:

$$y_1 = 0,714y_0 \left(\sqrt{1 + 0,28 \frac{V_0^2}{y_0}} - 1 \right)$$

Eq.29

Então, calcula-se V_1 usando a equação da continuidade: $V_1 = Q/by_1$

Eq.30

Para finalizar a geometria do fluxo de água no degrau pode-se recorrer ao Número de Queda.

$$D = \frac{q^2}{gd^3} \quad \text{Eq.31}$$

Onde:

D – Número de Queda

q – vazão específica = Q/b

d – altura do degrau

b – largura no fundo do canal

A partir do número de queda calcula-se L_1 e y_p (Figura 10).

$$\frac{L_1}{d} = 4,3D^{0,27} \quad \text{Eq.32}$$

$$\frac{y_p}{d} = D^{0,22} \quad \text{Eq.33}$$

$$L_2 = 6,9 (y_2 - y_1) \quad \text{Eq.34}$$



Figura 11 – Chanfro de contração

Segundo FCTH, 1999, na prática buscam-se valores de degrau menores que 1,0 m ($d \leq 1$) e, para evitar danos por cavitação sob a lâmina vertente, são feitos chanfros laterais que a contraem e criam um espaço entre essa lâmina e os muros para a entrada de ar.

3.6. Confluência (Adaptado de Bolinaga, 1979)

Aqui, será tratada a união de dois ou mais condutores em canais revestidos ou galerias. Um esquema típico é mostrado na Figura 12.

O que geralmente se calcula nas confluências são as alturas de água nas seções a montante e a jusante, bem como se estuda o efeito nos regimes gradualmente variados dos canais envolvidos. Como o regime supercrítico traz ondas estacionárias que elevam o nível d'água, é recomendado o subcrítico nesse encontro bem como, é desejável que o ângulo de incidência não supere 12° e que a profundidade de escoamento não exceda 0,80 da profundidade crítica para evitar a formação de um ressalto hidráulico.

Nas confluências é custoso aplicar procedimentos teóricos em razão da dificuldade hidráulica do caso. Simplificando, considera-se o regime gradualmente variado nas Seções 1, 2 e 3 e se aplicam as equações fundamentais de conservação de massa e energia e a de quantidade de movimento (Equações 1, 2 e 3).

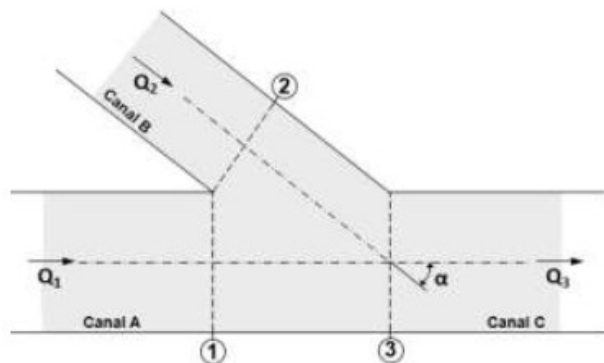


Figura 12 – Confluência

Onde:

sub-índice	seção	canal
1	montante	principal
2	montante	secundário
3	jusante	principal

Equação de conservação da massa:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad \text{Eq.35}$$

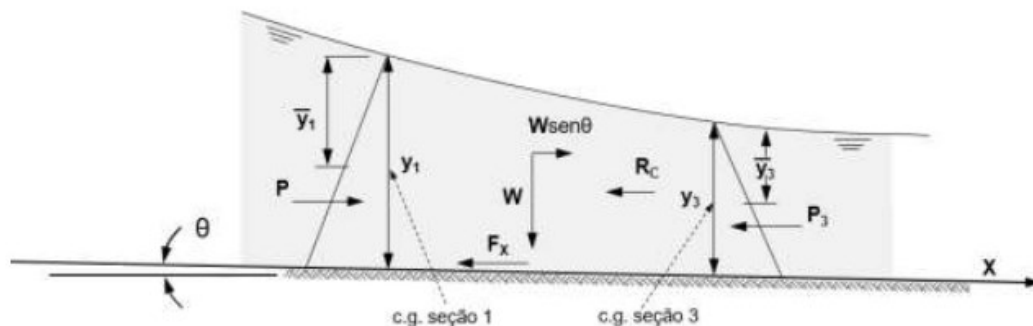


Figura 13 – Elevação – termos na confluência

Quanto à quantidade de movimento (Equação 3), admite-se que a direção principal é a do canal de jusante e que o coeficiente de Boussinesq $\beta_3=\beta_2=\beta_1=1$, então obtém-se a Equação 36.

Sendo a declividade do fundo mínima, então $W\text{sen}\vartheta=0$, e como as forças de origem viscosa são muito pequenas ($F_x=0$) é possível ignorá-las e da Equação 36 chega-se à Equação 37.

$$P_1+P_2\cos\alpha-P_3-R_C+W\text{sen}\theta-F_x = \\ = \rho (Q_3 V_3-Q_1 V_1-Q_2 V_2\cos\alpha)$$

Eq.36

Onde:

P – força hidrostática

F_x – forças de origem viscosa no contorno

W – peso total da água

R_C – componente da reação normal dos contornos

$$\gamma A_1 \bar{y}_1 + \gamma A_2 \bar{y}_2 \cos\alpha - \gamma A_3 \bar{y}_3 - R_C = \\ = \rho (Q_3 V_3 - Q_1 V_1 - Q_2 V_2 \cos\alpha)$$

Eq.37

A – área da seção

ϑ – declividade do canal

\bar{y} – distância vertical da superfície até o centro de gravidade da seção do fluxo

γ – peso específico da água

ρ – densidade da água

Q – vazão do caudal

V – velocidade média da água na seção

Quanto à Equação 2, sobre conservação de energia, a soma das existentes nos canais a montante menos as perdas, resulta na de jusante (Equação 38):

$$\gamma Q_1 H_1 + \gamma Q_2 H_2 - \Delta E_T = \gamma Q_3 H_3$$

Eq.38

Onde:

ΔE_T – total de energia perdida

H – altura de energia

Q – vazão

γ – peso específico do escoamento

3.6.1. Regime supercrítico

Suposições: 1ª o fluxo é uniforme e supercrítico nos três canais; 2ª a profundidade da água adjacente aos muros do canal lateral até a Seção 2 é igual a existente em toda essa seção; 3ª os canais são retangulares com $b_1=b_3=b$. Então o problema se reduz a determinar a altura do escoamento na Seção 3.

Na Equação 37, o valor de R_C se cancela com a força $\gamma A_2 \bar{y}_2 \cos\alpha$, conforme a 2ª suposição. Continuando com o ajustamento da expressão, para canais retangulares, segue:

$$\gamma A_1 \bar{y}_1 + \gamma A_2 \bar{y}_2 \cos\alpha - \gamma A_3 \bar{y}_3 - R_C = \rho (Q_3 V_3 - Q_1 V_1 - Q_2 V_2 \cos\alpha)$$

$$\gamma_2 \gamma (y_1^2 b_1 - y_3^2 b_3) = \rho (Q_3^2 / \gamma_3 b_3 - Q_1^2 / \gamma_1 b_1 - Q_2^2 / \gamma_2 b_2 \cos\alpha)$$

Eq.39a

Trabalhando com a vazão específica ($q=Q/b$):

$$q_1 = Q_1/b_1 = Q_1/b; \quad q_2 = Q_2/b_2; \quad q_3 = Q_3/b_3 = Q_3/b$$

Como $\gamma = \rho g$ e simplificando a Equação 39a pode-se obter o valor de y_3 , como a seguir:

$$y_3^2 + 2q_3^2/g y_3 = y_1^2 + 2q_1^2/g y_1 + 2(q_2^2 b_2 / g y_2 b) \cos\alpha$$

Eq.39b

Com o valor de y_3 previne-se transbordamento e é definida a altura das paredes laterais.

São ignorados os efeitos das ondas superficiais geradas no regime supercrítico.

Caso a Equação 39b não tenha raízes positivas significa que ocorre o regime crítico na seção 3 e subcrítico nas seções 1 e 2. Nestas haverá ressalto hidráulico e, portanto, alturas de água diferentes das utilizadas.

Este procedimento de cálculo foi comprovado em modelos do laboratório de hidráulica da U.S. Corps of Engineers para ângulos menores que 12° . Para seções diferentes das retangulares procede-se de forma similar a esta, mas com maior complexidade.

3.6.2. Regime subcrítico

Aqui preveem-se quatro possibilidades com base em diferentes suposições.

1ª Possibilidade

- $b_1 \neq b_2 \neq b_3$ (canais retangulares)
- O fluxo é uniforme (profundidade normal) e subcrítico nos três canais.
- A profundidade da água nos muros do canal lateral é igual à da seção 2.
- As alturas de água nas seções 1 e 2 são consideradas iguais.
- Na eventualidade de um remanso, os escoamentos podem ser calculados.

Para esta possibilidade, da equação da quantidade de movimento, tem-se:

$$b_3 \left(y_3^2 + \frac{2q_3^2}{g y_3} \right) = b_1 \left(y_1^2 + \frac{2q_1^2}{g y_1} \right) + \frac{2q_2^2 b_2}{g y_2} \cos \alpha + (b_3 - b_1) y_2^2 \quad \text{Eq.40}$$

Esta solução aplica-se a uma variedade de canais, principalmente os de grandes dimensões.

2ª Possibilidade

- $b_1 = b_3$

Neste caso busca-se calcular y_2 e emprega-se a expressão de Weber e Greated, 1966.

$$\frac{Q_3/b_3}{\sqrt{g} \cdot y_3^{3/2}} = \left[\frac{N_d(N_d^2 - 1)}{2(N_d - (1 - N_q)^2 - N_q^2 \cos \alpha)} \right]^{1/2} \quad \text{Eq.41} \quad N_d = \frac{y_1}{y_3} = \frac{y_2}{y_3} \quad \text{Eq.42} \quad N_q = \frac{Q_2}{Q_3} \quad \text{Eq.43}$$

3ª Possibilidade

- São ignoradas perdas de energia na confluência

O nível de energia específica da confluência é o da Seção 3, H_{03} , devido às condições do fluxo a jusante. As alturas de água nas seções 1 e 2 são obtidas supondo as energias específicas iguais.

$$H_{03} = H_{01} = y_1 + \frac{Q_1^2}{2g b_1^2 y_1^2} = H_{02} = y_2 + \frac{Q_2^2}{2g b_2^2 y_2^2} \quad \text{Eq.44}$$

Para melhorar os resultados, pode-se estimar uma percentagem de perda de energia cinética (K), valores razoáveis sem base em dados confiáveis. Então as equações anteriores tornam-se:

$$H_{03} = y_1 + (1 - K_1) + \frac{Q_1^2}{2g b_1^2 y_1^2} \quad \text{Eq.45} \quad H_{03} = y_2 + (1 - K_2) + \frac{Q_2^2}{2g b_2^2 y_2^2} \quad \text{Eq.46}$$

4ª Possibilidade

- Os fluxos dissipam todas as suas energias cinéticas na confluência.

Esta é uma solução conservadora que pode resultar exagerada. A altura da água é determinada de acordo com duas suposições: regime a jusante subcrítico ou supercrítico.

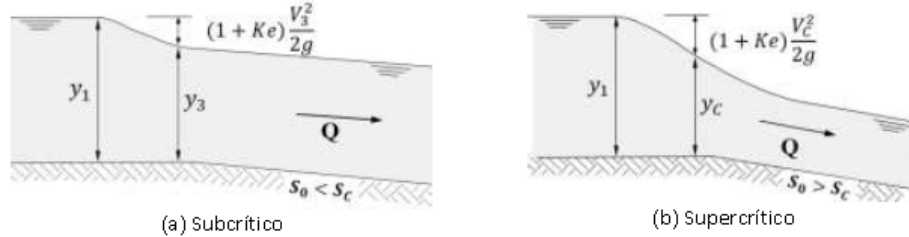


Figura 14 – Regimes da confluência a jusante

(a) Regime a jusante subcrítico

(b) Regime a jusante supercrítico

$$y_1 = y_3 + (1 + K_e) \frac{V_3^2}{2g} \quad \text{Eq. 47}$$

$$y_1 = y_c + (1 + K_e) \frac{V_c^2}{2g} \quad \text{Eq. 48}$$

Onde:

V_3 - velocidade correspondente a y_3 ;

V_c - velocidade crítica à jusante;

Eq. 47

K_e - coeficiente de perda de energia por entrada;

y_3 - altura normal ou imposta por alguma condição a jusante;

y_c - altura crítica à jusante.

Eq. 48

Esta possibilidade aplica-se a uma caixa coletora onde a transição ocorre em curta distância com ângulos pronunciados. Assim toda a energia cinética se dissipa por impacto e turbulência.

3.6.3. Confluência segundo a FCTH (1999)

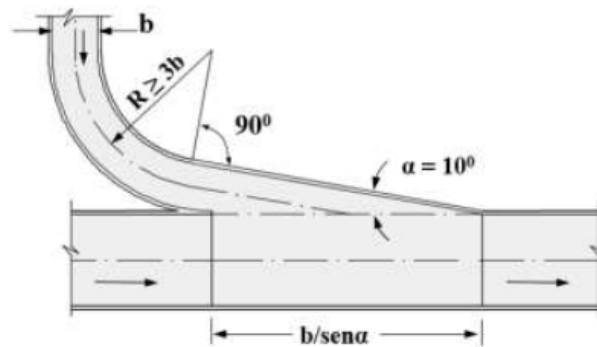


Figura 15 – Confluência ideal (FCTH, 1999)

Na publicação da FCTH, 1999, para estudo das confluências considera-se que:

- 1) O escoamento ocorre em regime subcrítico;
- 2) O escoamento é uniforme (*profundidade normal*) na confluência (*montante e jusante*);
- 3) Pode-se desconsiderar as perdas por atrito longitudinal;
- 4) O ângulo de incidência do afluente não excede 45º.

As profundidades de montante são obtidas segundo a seguinte formulação:

$$\frac{Q_3^2}{gA_3} + \frac{m_3 y_3^2}{2} = \frac{Q_1^2}{gA_1} + \frac{Q_2^2}{gA_2} \cos(\alpha) + \frac{m_1 y_1^2}{2}$$

Eq.49

Onde:

Para seção retangular: $m_1 = m_3 = b_3$

Para seção trapezoidal:

$$m_1 = b_3 + Z_1 \frac{2 \cdot y_1}{3} \quad m_3 = b_3 + Z_3 \frac{2 \cdot y_3}{3}$$

Alguns outros arranjos possíveis para confluências:

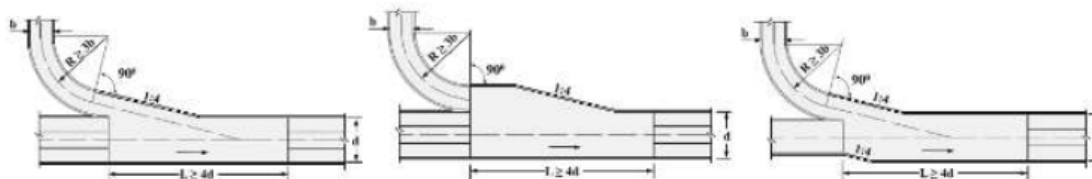


Figura 16 – Outros arranjos de confluência (FCTH, 1999)

3.7. Bifurcação

Trabalhando de maneira similar à confluência aplicam-se as mesmas equações, agora para bifurcação em regime fluvial. A diferença básica é que os níveis em cada canal, após a bifurcação, dependem da condição de jusante conhecida. O problema passa a ser o nível d'água a montante da bifurcação. Então aplica-se a Equação 49, com o esquema da Figura 17.

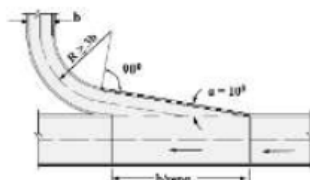


Figura 17 – Bifurcação (adaptado de FCTH, 1999)

3.8. Desemboque em canal natural

Neste caso, procura-se evitar erosão à margem oposta do canal e reduzir interferências importantes ao escoamento principal, o que é alcançado com duas medidas:

1ª – Atenuar a velocidade do escoamento para, no máximo, 2,0 m/s, mas sem reduzir muito, evitando assoreamentos. Isto é obtido com um alargamento final do desemboque.

2ª – Projetar um ângulo entre os eixos da foz e do receptor não superior a 45° ($\alpha \leq 45^\circ$).

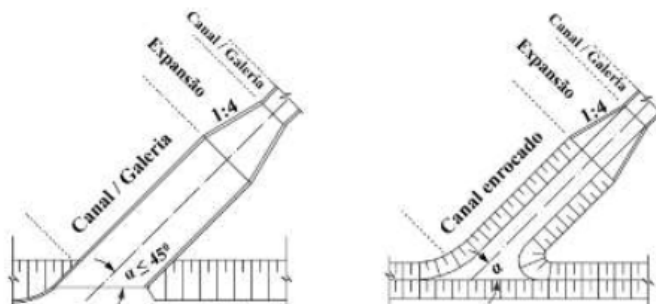


Figura 18 – Desemboque em canal natural (adaptado de FCTH, 1999)

Se o afluente chega com muita declividade, ele pode prejudicar o canal principal. Nesta situação, convém que o

trecho final da foz tenha inclinação reduzida, refreando a energia cinética do escoamento, quer por formar um ressalto hidráulico, no regime supercrítico, ou aumentando a profundidade do fluxo, no regime subcrítico.

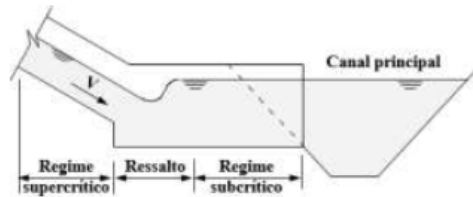


Figura 19 – Esquema para a entrada de um afluente inclinado (adaptado de FCTH, 1999)

Referência Bibliográfica

- Bolinaga, I.J.J. Drenaje Urbano. Instituto Nacional de Obras Sanitárias, Venezuela, 1979.
- Circular nº 14 da Federal Highway Administration (FHWA), EUA, intitulada Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, de julho de 2006.
- FCTH, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo, Reedição eletrônica: 1999.
- Fendrich, Roberto et al., Drenagem e Controle da Erosão Urbana, 4ª ed.. Curitiba: Champagnat, 1997.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1994. "Hydraulic Design of Flood Control Channels," Engineering and Design Manual, EM 1110-2-1601, July 1991, Change 1 (June 1994).
- Webber, N.B; Greated, C.A. An investigation of flow behaviour at the junction of rectangular channels. Proc. ICE, Londres, 1966.

The logo for ABP (Associação Brasileira de Pavimentação) is displayed in white on a blue background. It features the letters 'A', 'B', and 'P' in a stylized, serif font, with a small 'V' symbol to the right. The logo is set against a circular emblem that includes a globe and architectural elements.

ABP

ESTIMATIVA DOS EFEITOS DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS UTILIZANDO O HDM-4

**Rosuel Assis, Anthony Gomes dos Santos e
José Leomar Fernandes Júnior**

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estimar os custos de operação dos veículos (COVs) de um trecho rodoviário em diferentes níveis de irregularidade longitudinal do pavimento, fazendo uso do software HDM-4 (Highway Development and Management) para a realização das simulações. Tomando como base simulações realizadas anteriormente para um trecho rodoviário real, e atualizando os preços dos componentes dos veículos, procedeu-se com o cálculo dos COVs para valores de IRI (International Roughness Index) entre 1 e 6 m/km, considerando um trecho com traçado completamente plano e reto. Após calcular os COVs, os mesmos foram comparados com valores calculados por outros autores para verificar se eram compatíveis. Foi observada forte influência da irregularidade longitudinal na velocidade de operação de alguns veículos, o que acarretou em um comportamento inesperado nos custos de combustível, que após um leve acréscimo passavam a reduzir, sendo o custo menor para o pavimento com pior condição. O custo com maior sensibilidade ao IRI foi o de peças e manutenção, que para veículos pesados atingia aumento entre 20% e 45% no custo de peças para o pavimento com a pior condição. Os custos de capital também foram consideravelmente sensíveis aos efeitos da irregularidade. Não se observou influência da irregularidade nos custos com óleos lubrificantes. Os veículos pesados tiveram maior aumento nos custos quando comparados com os veículos mais leves – 16% para caminhões pesado contra 3% dos carros médios. A comparação dos valores obtidos neste trabalho com trabalhos desenvolvidos anteriormente por outros autores indicou que os resultados são compatíveis com valores reais, indicando que a utilização do HDM-4 é recomendada nesse tipo de análise, mesmo sem a calibração dos modelos que estimam os efeitos dos usuários. É recomendado o aprofundamento nos estudos que caracterizam o comportamento dos componentes dos veículos em função do estado de conservação dos pavimentos rodoviários, de modo a aumentar a confiança nos resultados obtidos tanto na determinação real, como na calibração do próprio HDM-4.

PALAVRAS-CHAVE: : hdm-4; custos de operação de veículos; irregularidade; sistema de gerência de pavimentos.

ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the vehicle operating costs (VOCs) of a roadway at different levels of longitudinal roughness of the pavement, using HDM-4 (Highway Development and Management) software to perform the simulations. Based on simulations carried out previously for a real roadway, and updating the prices of vehicle components, the VOCs were calculated for IRI (International Roughness Index) values between 1 and 6 m / km, considering a highway completely flat and straight. After calculating the VOCs, they were compared with values calculated by other authors to verify if they were compatible. It was observed a strong influence of the longitudinal roughness in some vehicles operating speeds, which resulted in an unexpected behavior in the fuel costs, which after a slight increase began to reduce, being the lower cost for the pavement with worse condition. The most sensitive cost to IRI was that of parts and maintenance, which for heavy vehicles reached an increase between 20% and 45% in the cost of parts for the pavement with the worst condition. Capital costs were also considerably sensitive to the effects of roughness. There was no influence of roughness in the costs of lubricating oils. Heavy vehicles had the greatest increase in costs compared to lighter vehicles - 16% for heavy trucks versus 3% for medium cars. The comparison of the values obtained in this work with works previously developed by other authors indicated that the results are compatible with real values, indicating that the use of HDM-4 is recommended in this type of analysis, even without the calibration of models that estimate users effects. It is recommended to deepen the studies that characterize the behavior of the components of the vehicles depending on conservation state of road pavements, in order to increase confidence in the results obtained both in the actual determination and in the calibration of the HDM-4 itself.

KEYWORDS: hdm-4; vehicle operating costs; roughness; pavement management system.

1. INTRODUÇÃO

A irregularidade longitudinal dos pavimentos rodoviários é utilizada como um indicador da qualidade em que os pavimentos se encontram do ponto de vista funcional. Esta condição funcional interfere diretamente no conforto e segurança dos usuários e, por consequência, nos custos de operação dos veículos (COVs). Segundo a CNT (2017), uma rodovia com pavimento em péssimo estado pode acarretar num aumento de até 91,5% dos custos de operação de um caminhão pesado (41% de aumento em pavimentos com condição regular). Como, de acordo com a própria CNT (2017), 50% das rodovias avaliadas na sua pesquisa em todo o Brasil apresentam pavimentos em condições regular, ruim e péssimo, existe um grande impacto da condição dos pavimentos na própria economia do país, já que o modo rodoviário responde por mais de 60% da participação no transporte de cargas.

Embora apresente valores gerais do aumento do COV, a determinação dos mesmos é possível em casos particulares com a utilização do software *Highway Development and Management* (HDM-4), desenvolvido pelo Banco Mundial. Através deste software, a determinação dos COVs utiliza como principal parâmetro o *International Roughness Index* – IRI (Índice de Irregularidade Internacional), que no programa pode assumir valores entre 1 e 16 m/km. Com o HDM-4, não somente os custos totais podem ser avaliados, como também a variação de cada componente dos veículos avaliados (combustível, pneus, peças e manutenção, dentre outros). Nesse sentido, Zaabar e Chatti (2014) verificaram os efeitos da irregularidade longitudinal de pavimentos no consumo de combustível, pneus e nos custos com reparo e manutenção, utilizando para tanto os modelos do HDM-4 calibrados com valores reais dos Estados Unidos para os custos com pneus e combustível, e modelos próprios para a determinação dos custos de manutenção e reparos.

Segundo Nunes (2012), o software HDM, cuja primeira versão foi o HDM-3, foi o resultado de pesquisas desenvolvidas inicialmente entre o final da década de 60 e o início da década de 70 numa cooperação entre o TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*), o LCPC (*Laboratoire Central des Ponts e Chaussées*), o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e o Banco Mundial. Ao longo dos anos, foram incorporados estudos desenvolvidos em diversos países em desenvolvimento (Quênia, Índia, países do caribe e Brasil), até o lançamento do atual HDM-4 no ano 2000, incorporando não somente os aspectos de gerência de pavimentos, mas também a inclusão de modelos para a simulação de efeitos ambientais e de segurança viária.

Utilizado em vários lugares do mundo na avaliação econômica de projetos rodoviários, o HDM-4 necessita do fornecimento de diversos dados, que impactam de diferentes formas e intensidades nos modelos do programa, conforme exposto por Nunes (2012). Estes dados se dividem da seguinte forma:

- Configurações básicas: parâmetros climáticos e de tráfego básicos do local em estudo. Os parâmetros de tráfego se dividem em *Speed Flow Types* e *Traffic Flow Patterns*;
 - Padrões de atividades: parâmetros das intervenções que ocorrem durante o período de análise, sendo elas intervenções de melhorias (*Improvement Standards*) ou de manutenção e reabilitação (*Maintenance Standards*);
 - Frota: parâmetros dos veículos que trafegam pelo trecho em estudo;
- Rede viária: parâmetros da estrutura física do trecho em estudo, com a caracterização da geometria da via, da estrutura do pavimento existente, volume de tráfego, dentre outros.

Neste trabalho, foram estimados os efeitos da irregularidade longitudinal dos pavimentos em todos os componentes veiculares do HDM-4, em trechos completamente retos e planos, com os modelos padrão do software não calibrados. Ao final do trabalho, verificou-se a compatibilidade dos custos encontrados com valores de outros trabalhos, buscando avaliar se a utilização do HDM-4 é adequada mesmo sem a calibração dos modelos e como se comportam os custos.

2. MÉTODO

Este trabalho consiste basicamente na aplicação dos modelos de efeitos dos usuários do HDM-4 para estimativa dos COVs em diferentes níveis de irregularidade longitudinal de uma rodovia. Foram utilizados os mesmos dados de Klein, Parreira e Fernandes Jr (2006), com a adaptação dos preços dos componentes dos veículos, como combustível, pneus e demais itens. A descrição da sequência das atividades desenvolvidas é feita a seguir.

2.1. Dados de entrada do HDM-4

Os dados utilizados nas simulações deste trabalho foram divididos pelos tipos conforme descrito anteriormente: configurações básicas, padrões de atividades, frota e rede viária. Os valores e estratégias adotados são apresentados para cada tipo de dado de entrada.

- a. Configurações básicas: em relação aos parâmetros climáticos, foram utilizados os valores padrão do HDM-4 para a zona climática sub-úmida/tropical (Tabela 1), uma vez que essa zona climática é a que mais se aproxima das características da região onde se localiza a rodovia em estudo. Em relação aos parâmetros de tráfego, foi adotado o tipo “rodovia de quatro faixas” (Tabela 2) no *Speed Flow Type*, por se tratar de rodovia de pista dupla, e o *Traffic Flow Pattern* adotado foi o fluxo livre (*Free Flow*), ou seja, todo o tráfego distribuído igualmente entre todas as horas do ano.

Tabela 1 – Parâmetros climáticos considerados

Variável	Valor considerado
Classificação de umidade	Sub-úmido
Índice de Umidade	0
Duração da estação seca (fração do ano)	0,5
Precipitação Média Mensal	100 mm
Classificação de Temperatura	Tropical
Temperatura Média	27 °C
Variação de Temperatura	15,0 °C
Dias com Temperatura >32 graus	90 dias

Tabela 2 – Parâmetros de tráfego considerados

Variável	Valor considerado
Tipo de rodovia	Rodovia de 4 faixas
Capacidade	2000 cpe/h/faixa
Capacidade de Fluxo Livre (<i>breakpoint</i>)	0,4
Capacidade nominal	0,95
Velocidade de congestionamento na capacidade	40 km/h

- b) Padrões de atividades: foi criada somente uma atividade de manutenção denominada “limpeza”, que não tinha nenhum efeito sobre o pavimento, uma vez que as análises desenvolvidas neste trabalho contemplam níveis de irregularidade constantes, que não sofrem intervenções no pavimento.
- c) Frota: foram utilizadas as mesmas categorias de veículos definidas por Klein, Parreira e Fernandes Jr (2006): Carro Médio (CM), Caminhão Leve (CL), Caminhão Pesado (CP) e Ônibus Pesado (OP). A seguir são apresentadas as distribuições do volume de tráfego entre cada tipo de veículo (Tabela 3), a caracterização dos veículos (Tabela 4) e os custos de cada componente (Tabela 5). Os valores apresentados na Tabela 5 foram obtidos através de consultas de mercado e de índices de preços disponibilizados em meios eletrônicos.

Tabela 3 – Distribuição do tráfego

Composição do Tráfego		VDMa
Carro médio	64,2%	2128
Caminhão leve	22,4%	855
Caminhão pesado	9,0%	6089
Ônibus pesado	4,5%	428

Tabela 4 – Características dos veículos (Klein, Parreira e Fernandes Jr, 2006)

Variável	caminhão leve	caminhão pesado	carro médio	ônibus pesado
Tipo padrão HDM-4	<i>truck-light</i>	<i>truck-heavy</i>	<i>medium car</i>	<i>bus-heavy</i>
Classe	caminhões	caminhões	carro passageiro	ônibus
Nº eixos	2	3	2	3
Nº rodas	4	10	4	10
Tipo pneu	diagonal	diagonal	radial	diagonal
Peso de operação (t)	2	13	1,2	10
ESALF	0,1	2,28	0	0,8
PCSE	1,3	1,6	1	1,6

Tabela 5 – Custos unitários dos componentes veiculares

Variável	caminhão leve	caminhão pesado	carro médio	ônibus pesado
Veículo novo	R\$ 150.000,00	R\$ 350.000,00	R\$ 40.000,00	R\$ 200.000,00
Pneu	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00	R\$ 250,00	R\$ 1.500,00
Combustível (R\$/l)	R\$ 2,74	R\$ 2,74	R\$ 3,19	R\$ 2,74
Lubrificante (R\$/l)	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Passageiro em serviço (R\$/h)	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Passageiro (R\$/h)	R\$ 2,00	R\$ 2,00	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Manutenção (R\$/h)	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Tripulação (R\$/h)	R\$ 25,00	R\$ 25,00	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Gastos gerais	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Carga (R\$/h)	R\$ 25,00	R\$ 25,00	R\$ -	R\$ 25,00

- d) Rede viária: foram criadas seções para cada nível de irregularidade avaliado, todas idênticas e com os mesmos valores utilizados por Klein, Parreira e Fernandes Jr (2006). Em geometria, o somatório de subidas e descidas e o somatório de ângulos de curvas horizontais foi igual a zero, para que a influência das características geométricas não exercesse impacto nas análises da condição do pavimento. A altitude considerada foi igual a 790m, e o limite de velocidade de 110 km/h. O pavimento apresentou espessuras de revestimento iguais a 50mm, com número estrutural igual a 5 e CBR do subleito igual a 20%. Todos os parâmetros de condição do pavimento foram zerados, com exceção da profundidade de textura, a qual foi atribuído o valor de 0,70mm, e da resistência a derrapagem, que recebeu valor igual a 0,5, além do IRI, o qual foi variável em cada seção, com os valores indicados no próximo item deste trabalho.

2.2. Considerações sobre os intervalos de IRI adotados

Embora amplamente utilizado no mundo todo, o IRI recebe diferentes abordagens no que se refere aos intervalos e limites das escalas qualitativas do mesmo, como aponta Múcka (2017). Como padrão, o HDM-4 utiliza 4 escalas para classificar o IRI: bom, regular, ruim e péssimo, aos quais são atribuídos, respectivamente, os valores 2, 4, 6 e 8 m/km. No Brasil, o DNIT (2006) estabelece os limites apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do pavimento segundo o IRI (DNIT, 2006)

Condição	Intervalo do IRI (m/km)
Excelente	1,0 - 1,9
Bom	1,9 - 2,7
Regular	2,7 - 3,5
Ruim	3,5 - 4,6
Péssimo	> 4,6

Observa-se que, enquanto o HDM utiliza 4 escalas para classificar a condição do pavimento em função do IRI, o manual brasileiro adota 5 escalas, com limites menores do que os praticados pelo HDM. Apesar do limite para um pavimento considerado péssimo ser igual a 4,6 m/km, Zaabar e Chatti (2014) realizaram simulações com valores arredondados de IRI, num intervalo de 1 m/km, e obtiveram COVs para cada condição estabelecida. Dessa forma, apesar do limite adotado no Brasil para um pavimento péssimo ser igual a 4,6 m/km, as simulações deste trabalho adotaram os mesmos valores de IRI utilizados por Zaabar e Chatti (2014), inclusive para estabelecer comparativos de ordens de grandeza nos aumentos de COVs. Dessa forma, além de apresentar os custos totais de cada componente dos veículos para cada nível de irregularidade, serão apresentados também os aumentos nos custos comparados à “condição base”, onde o pavimento apresenta IRI igual a 1 m/km.

3. RESULTADOS

3.1. Velocidade de Operação dos Veículos

A figura 1 apresenta a variação da velocidade de operação dos veículos considerados neste trabalho. Percebe-se que o aumento da irregularidade longitudinal do pavimento, especialmente com valores de IRI acima de 3 m/km, impacta significativamente na velocidade de todos os veículos. As maiores reduções de velocidade são percebidas nos automóveis, seguidos dos caminhões leves e dos caminhões e ônibus pesados, que apresentam a menor sensibilidade aos efeitos da irregularidade na velocidade.

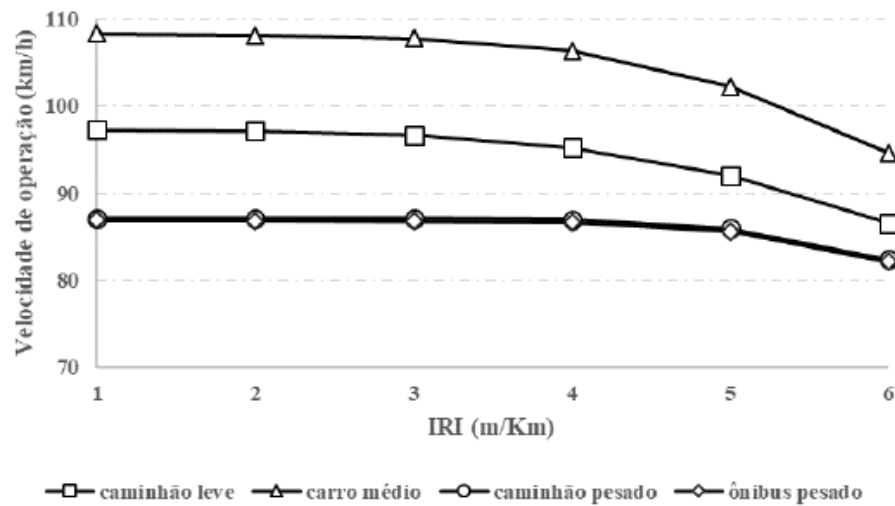


Figura 1 – Velocidades de operação dos veículos em função do IRI

3.2. Custos totais por componente dos veículos

A primeira análise realizada é sobre os custos totais de cada componente dos veículos, ou seja, o somatório dos custos de cada componente considerando todos os veículos ao mesmo tempo. As figuras 2 e 3 demonstram o comportamento dos diversos componentes de custos dos veículos em relação aos valores de irregularidade definidos inicialmente.

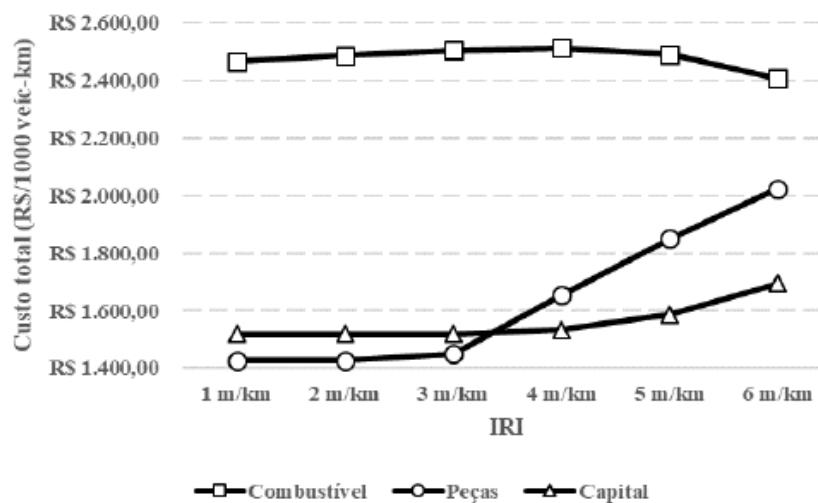


Figura 2 – Custos dos componentes veiculares em função do IRI - I

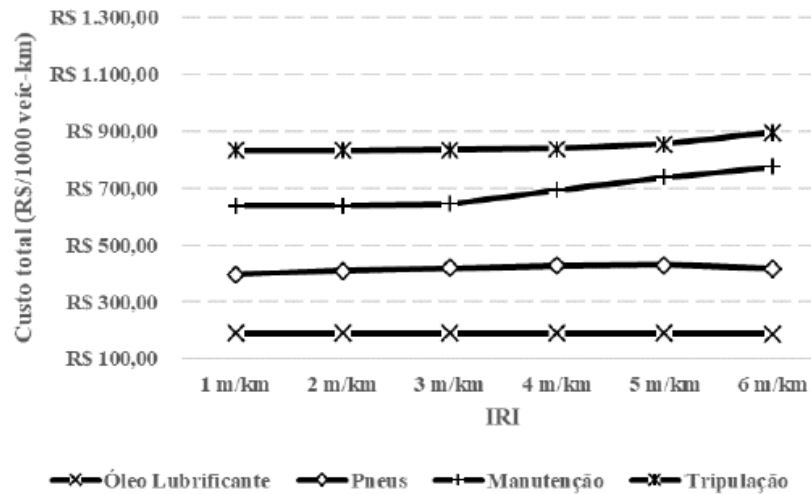


Figura 3 – Custos dos componentes veiculares em função do IRI - II

Como se esperava inicialmente, quase todos os componentes apresentaram aumento nos custos de operação com o aumento da irregularidade longitudinal do pavimento. A exceção ocorreu com o combustível, que teve aumento no custo total até o IRI igual a 4 m/km, e teve uma redução significativa nos custos com valores de IRI maiores que 4 m/km, apresentando inclusive valor inferior ao inicial quando o IRI atinge 6 m/km. Embora esse inicialmente não seja o comportamento esperado para este componente, uma possível causa para este comportamento é a redução acentuada da velocidade dos veículos observada quando o IRI é maior que 4 m/km, onde possivelmente as menores velocidades fazem os veículos economizarem combustível. Esta suposição é reforçada pelos valores obtidos por Zaabar e Chatti (2014), onde em velocidades constantes, o consumo de combustível é sempre maior com o aumento da irregularidade. Apesar do aparente efeito da velocidade no consumo de combustível, todas as simulações permaneceram com os valores da velocidade variável, por representar melhor o comportamento dos usuários em uma rodovia.

Em relação aos demais componentes, é possível afirmar que a irregularidade longitudinal dos pavimentos não exerce influência no consumo de lubrificantes, uma vez que o mesmo permanece praticamente inalterado com o aumento do IRI. Os custos com pneus apresentam aumento visível até um IRI igual a 5 m/km, sendo observada ligeira queda nos custos com IRI igual a 6 m/km. Os custos com manutenção apresentam aumento significativo com IRI maior que 3 m/km, enquanto que os custos com tripulação têm seu aumento mais significativo entre IRI 5 e 6 m/km. Os aumentos mais acentuados observados foram com os custos de capital e, principalmente, nos custos com peças, que apresentou a maior sensibilidade aos efeitos da irregularidade dos pavimentos com IRI maior que 3 m/km.

3.3. Custos totais por categoria de veículo

A figura 4 ilustra a variação nos custos totais de cada categoria de veículo considerada neste trabalho em relação ao valor do IRI. Neste gráfico, os valores representam o custo de um único veículo percorrendo um km do trecho em estudo.

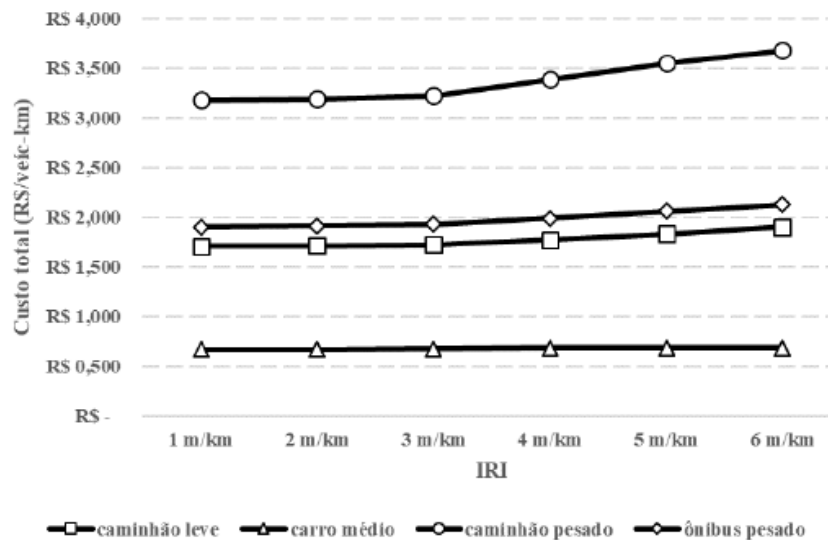


Figura 4 – Custos totais dos veículos em função do IRI

No gráfico, é perceptível a maior influência da irregularidade nos custos dos veículos mais pesados. Enquanto os carros, que já possuem os menores custos totais, apresentam pequena sensibilidade aos efeitos da irregularidade do pavimento, os caminhões pesados possuem os maiores custos totais e também sentem mais o impacto da irregularidade em seus custos. Em termos absolutos, a tabela 7 detalha os valores apresentados na figura anterior.

Tabela 7 – Custos totais (R\$/veic-km) em função do IRI

IRI	veículo			
	caminhão leve	carro médio	caminhão pesado	ônibus pesado
1 m/km	R\$ 1,712	R\$ 0,672	R\$ 3,180	R\$ 1,904
2 m/km	R\$ 1,718	R\$ 0,674	R\$ 3,193	R\$ 1,916
3 m/km	R\$ 1,727	R\$ 0,678	R\$ 3,223	R\$ 1,932
4 m/km	R\$ 1,776	R\$ 0,688	R\$ 3,388	R\$ 1,995
5 m/km	R\$ 1,834	R\$ 0,692	R\$ 3,549	R\$ 2,063
6 m/km	R\$ 1,906	R\$ 0,691	R\$ 3,680	R\$ 2,128

Considerando os valores absolutos, os carros apresentaram aumento de aproximadamente 2 centavos no custo total por km. Caminhões leves e ônibus pesados tiveram aumento de aproximadamente 20 centavos, enquanto os caminhões pesados tiveram aumento de 50 centavos. A análise dos custos por veículo-km permite comparar esses custos com alguns custos não computados pelo HDM-4, como as tarifas de pedágio praticadas no país, por exemplo, que considerando o ano-base de 2015, variavam entre 2 e 18 centavos por km rodado para veículos de passeio, conforme dados expostos pela ANTT (2018) e pela ARTESP (2018). Em termos relativos, o aumento identificado nos custos totais dos carros foi igual a 3%, enquanto caminhões leves, ônibus pesados e caminhões pesados tiveram aumento de 11%, 12% e 16%, respectivamente.

Se forem considerados os custos totais de todos os veículos, os valores obtidos para cada IRI são apresentados na figura 5.

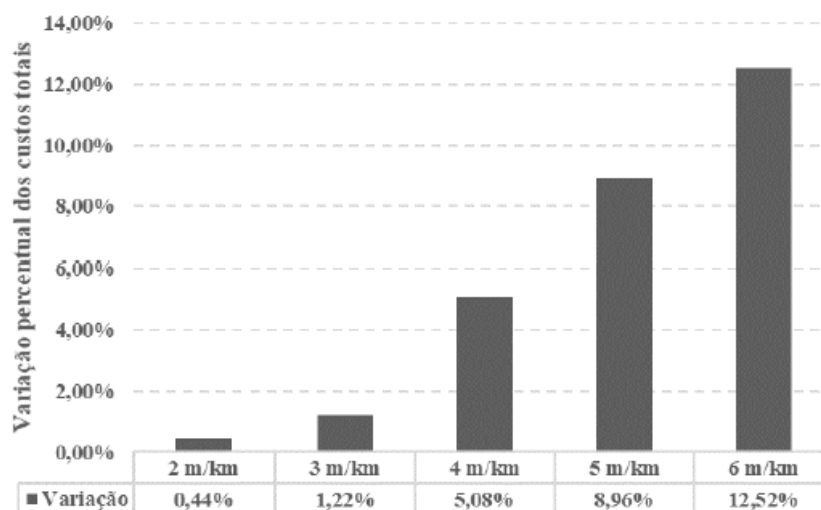


Figura 5 – Variação percentual dos custos totais dos veículos em função do IRI

Pelo gráfico apresentado, o pior cenário de irregularidade no pavimento acarretaria no aumento dos custos totais de todos os usuários do trecho em estudo em 12,52%. Esses valores, ainda que representativos, não são compatíveis com os valores apresentados pela CNT (2017), indicados na Figura 6. Essa discrepância motiva, portanto, a análise dos principais componentes dos custos de operação dos veículos, comparando os mesmos com outros valores de referência.

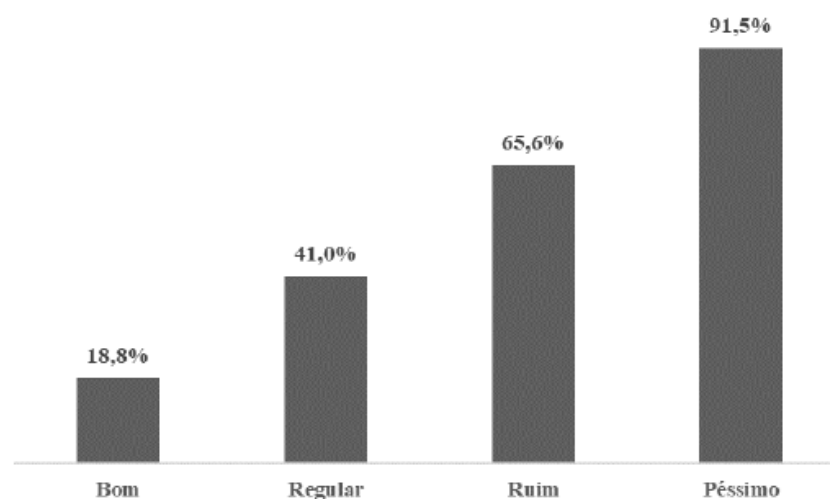


Figura 6 – Aumento do custo operacional de caminhões conforme estado do pavimento (CNT, 2017)

3.4. Análise dos principais componentes em cada veículo

Como forma de corroborar os valores obtidos até o momento, foi realizada também a análise dos principais componentes dos veículos em estudo, comparando os valores obtidos neste trabalho com outros trabalhos desenvolvidos anteriormente. As Figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam as variações percentuais para cada veículo nos custos de combustível, pneus, peças e manutenção, respectivamente.

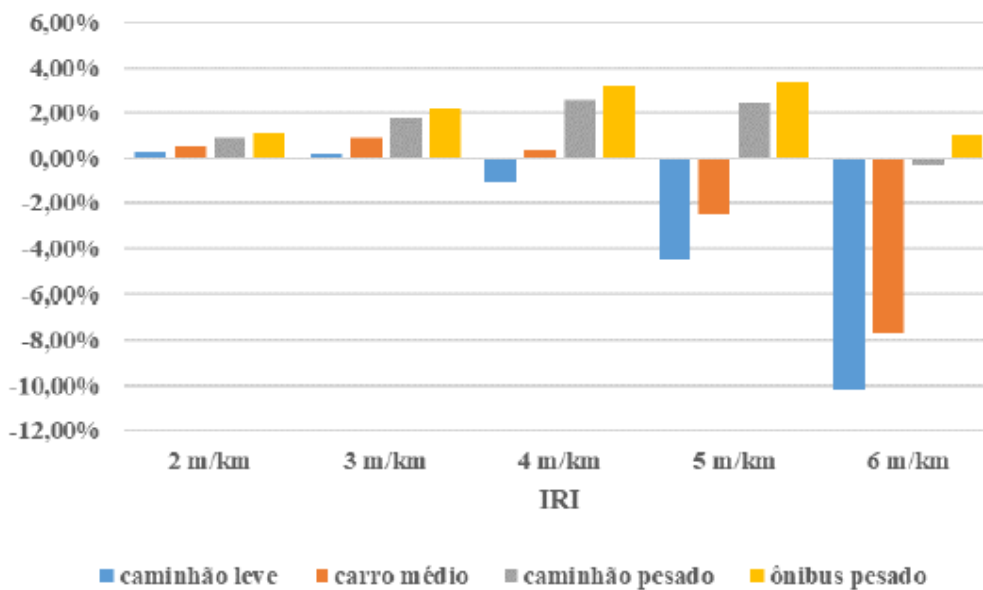


Figura 7 – Variação percentual dos custos com combustível

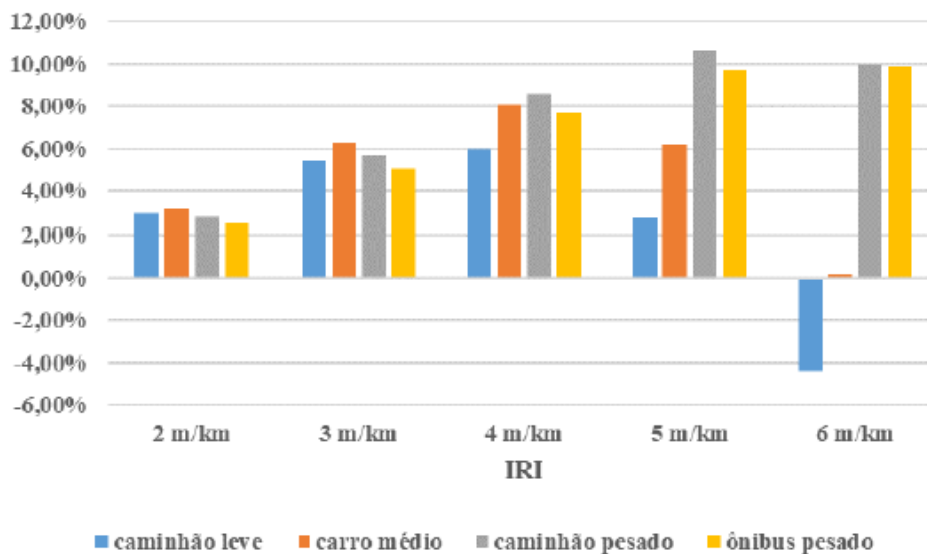


Figura 8 – Variação percentual dos custos com pneus

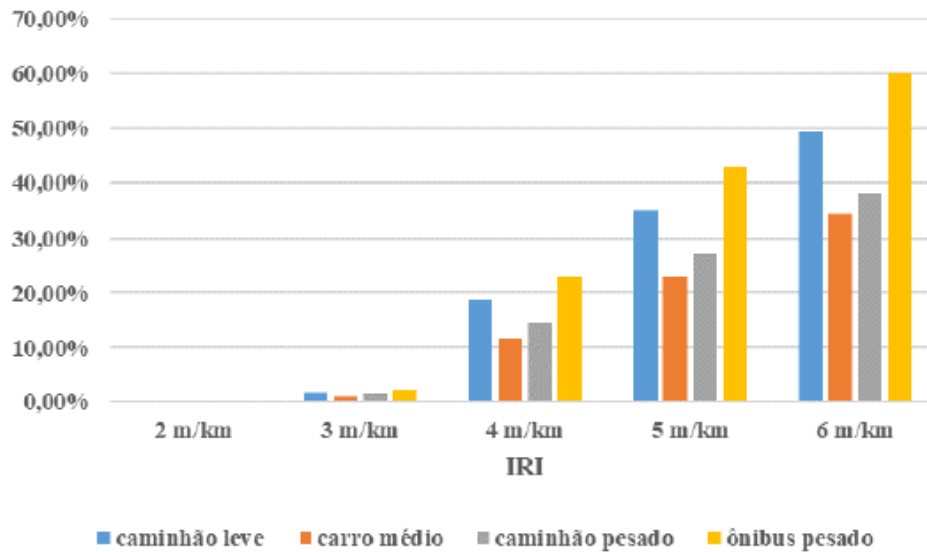


Figura 9 – Variação percentual dos custos com peças

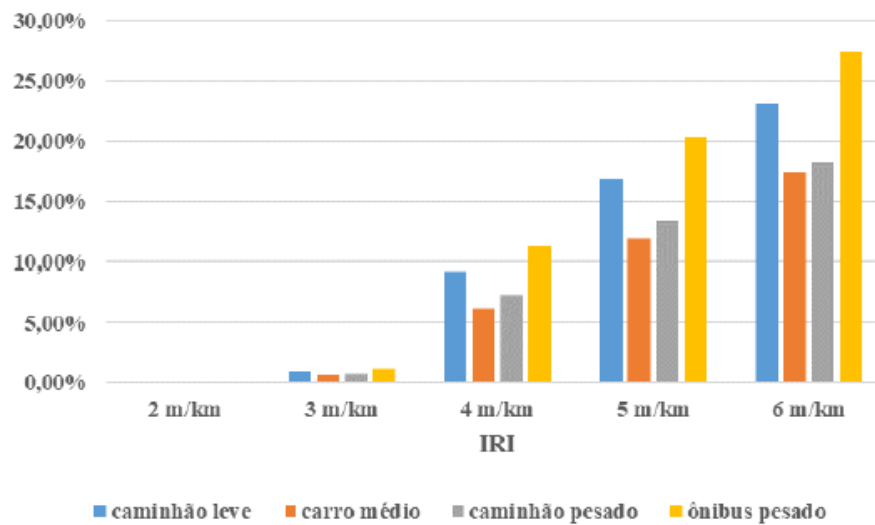


Figura 10 – Variação percentual dos custos com manutenção

No que se refere ao combustível, percebe-se que os veículos que mais sofrem redução na velocidade operacional (caminhão leve e carro médio) são justamente os que apresentaram os menores aumentos no custo de combustível até um IRI igual a 3 m/km, e foram os veículos que apresentaram maior redução no custo quando o IRI foi maior que 4 m/km. Os demais veículos apresentaram aumentos nos custos com combustível até um IRI igual a 5 m/km, variando entre 2% e 4% esse aumento. Esses valores são inferiores aos identificados por Zaabar e Chatti (2014), porém estão bem próximos dos valores calculados por Bartholomeu (2006), que obteve uma redução média de 5% nos custos com combustível entre rodovias com pavimentos muito bons e muito ruins.

Os valores encontrados para os pneus foram inteiramente compatíveis com os calculados por Zaabar e Chatti (2014), embora alguns veículos também tenham apresentado comportamento inesperado com as reduções de velocidade devidas ao aumento da irregularidade. Zaabar e Chatti (2014) observaram aumento nos custos com pneus entre 4% e 12% para velocidades superiores a 88 km/h e IRI igual a 6 m/km, estando os caminhões e ônibus pesados dentro deste intervalo. Bartholomeu (2006) não realizou a análise para os pneus em seu trabalho.

Os custos com peças e manutenção, por sua vez, apresentaram comportamentos semelhantes, sempre aumentando em função do IRI. Os valores encontrados foram significativamente inferiores aos valores obtidos por Zaabar e Chatti (2014), onde os aumentos nos custos com peças e manutenção variou entre 70% e 130%. Se forem considerados valores médios dos obtidos com peças e manutenção neste trabalho, tem-se uma variação entre 20% e 45% aproximadamente, menos da metade dos valores calculados pelos outros autores. Neste caso, cabe ressaltar que no trabalho de Zaabar e Chatti (2014), o modelo para determinar os custos com peças e manutenção foi desenvolvido fora do HDM-4, sendo apropriado para as condições particulares das rodovias dos Estados Unidos. Bartholomeu (2006) calculou, para casos reais no Brasil, um aumento de 18,7% nos custos com manutenção dos caminhões, enquanto a CNT (2001, *apud* Bartholomeu, 2006) indicava aumentos de 38% na manutenção dos veículos. Considerando os valores indicados pelos autores brasileiros, é possível afirmar que os custos com peças e manutenção verificados neste trabalho também são compatíveis com a realidade observada até o presente momento na literatura do país.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho buscou-se, além de estimar os COVs para um caso específico com o uso do HDM-4, a verificação da compatibilidade desses valores com valores reais obtidos em outros trabalhos. Ao final das simulações, verificou-se que a maioria dos resultados foi coerente com o esperado e compatível com valores calculados por outros autores. A maior limitação identificada nas simulações foi na utilização dos modelos de consumo de combustível, uma vez que a velocidade de operação dos veículos possivelmente exerceu influência tal no consumo de combustível que situações de extrema deterioração do pavimento, com altos valores de irregularidade longitudinal, foram mais “econômicas” para os veículos do que uma condição ótima na conservação do pavimento.

Dentre os componentes avaliados, os custos com peças e manutenção foram os que sofreram maior influência da irregularidade longitudinal, seguidos pelos custos de capital. Não foi observada nenhuma influência da condição do pavimento nos custos com lubrificantes. Os veículos mais pesados apresentaram maior sensibilidade aos efeitos da irregularidade nos COVs. Enquanto os automóveis obtiveram um aumento de 3% em seus custos totais, os caminhões e ônibus apresentaram aumentos entre 11% e 16%. Considerando todos os veículos, a maior variação de custos identificada foi de 12,5%, quando o pavimento apresentava IRI igual a 6 m/km.

Embora a CNT (2017) indicasse uma sensibilidade muito maior dos veículos pesados aos efeitos de um pavimento em péssimo estado de conservação, valores observados em outros trabalhos indicaram coerência entre os resultados obtidos nas simulações e os valores reais dos veículos. Mesmo sem realizar a calibração dos modelos que determinam os efeitos dos usuários no HDM-4, entende-se que os resultados obtidos são satisfatórios e a aplicação do software em análises de projetos em nível de rede é recomendada, desde que se tomem os cuidados necessários, especialmente no conhecimento dos dados que geram maior impacto nas análises.

Recomenda-se o aprofundamento no conhecimento do comportamento dos veículos quando submetidos a condições de pavimento com péssima conservação, para que se tenha cada vez mais estimativas precisas dos impactos que a condição das rodovias causa na economia do país. É recomendado também que se façam análises desconsiderando o efeito da velocidade de operação dos veículos, ou que se calibrem os modelos de consumo de combustível com valores reais dos diversos veículos que compõem a frota nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTT (2018). **Agência Nacional de Transportes Terrestres**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- ARTESP (2018). **Agência de Transporte do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- BARTHOLOMEU, D. F. (2006). **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- CNT (2001). **Revista CNT**. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, 2001.
- CNT (2017). **Pesquisa Rodoviária 2017 – Relatório Gerencial**. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, 403p.
- DNIT (2006). **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**: Publicação IPR -720. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.
- KLEIN, F. C.; PARREIRA, A.B.; FERNANDES JR, J.L; (2006). **Avaliação dos custos de operação dos veículos e do tempo de viagem em função da geometria das rodovias**. Revista Minerva, v. 3, 223-233.
- MÚCKA, P.; (2017) **International Roughness Index Specifications Around the World**. Road Materials and Pavement Design, v. 18, 929-965.
- NUNES, D. F. (2012). **Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- ZAABAR, I.; CHATTI, K. (2014) **Estimating Vehicle Operating Costs Caused by Pavement Surface Conditions**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2455, 63-76

The logo for ABP (Associação Brasileira de Permuta) is displayed in blue. It features the letters 'A', 'B', and 'P' in a stylized, outlined font, with a small inverted triangle to the right of the 'P'. The logo is set against a white background with a faint, light blue circular emblem behind it.

ABP

***SUPERESTRUTURA
FERROVIÁRIA SEM DORMENTES
E LASTRO:
UMA NOVA CONCEPÇÃO***

Rui José da Silva Nabais¹

RESUMO

Este artigo mostra alguns aspectos práticos de uma solução para superestrutura ferroviária técnica e economicamente viável que vem sendo adotada a partir de experiências na África do Sul, há mais de 30 anos e disseminada depois para outros países, eliminando o uso de dormentes convencionais e lastro de pedra britada, com vantagens ambientais, bem como de redução de custo e prazo de implantação e simplificando a manutenção da via.

PALAVRAS-CHAVE: superestrutura ferroviária .

ABSTRACT

From thirty years of experience in South Africa and then disseminated for another countries in the world, it's shown some practical point of view of a technical and economically feasible different railway superstructure solution that doesn't use stone ballast and sleepers as usual, showing it's advantage in terms of environment, costs profit, time schedule for implementation and maintenance facilitation as well.

KEYWORDS: railway superstructure

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 3 décadas atrás, começou a ser utilizado em minas subterrâneas da África do Sul, (segundo a Wikipedia (1) um país que detém uma malha ferroviária de cerca de 31 mil km - <https://pt.wikipedia.org> em 16/11/2016, o décimo país em extensão de malha ferroviária no Mundo e a maior malha de África) um novo conceito de superestrutura ferroviária, eliminando o uso de lastro em pedra britada e dormentes.

Esta técnica, implantada pela Tubular Track (<http://www.tubulartrack.co.za/> (5)), consiste em instalar os trilhos ferroviários sobre vigas longitudinais de concreto armado, diretamente assentes sobre o sublastro, dispensando o lastro em pedra britada.



Fig. 1 – Trecho Aus – Lüderitz (Namíbia). Linha de carga reabilitada com Tubular Track (4.1)

O sucesso desta concepção fez com que a mesma passasse a ser utilizada à superfície e hoje existem mais de 650km de linhas implantadas com este sistema e funcionando em vários países (África do Sul, Lesotho, Namíbia (4.1), Canadá, Rússia, Arábia Saudita, Botswana), para diversos tipos de carga e em sistemas de transporte de passageiros, com sucesso, há mais de 25 anos (About the T-Track System 24 Aug 2015 (4.7)). Segundo os fabricantes (4.7), esta solução já transportou mais de 2 bilhões de toneladas de carga.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Basicamente o sistema consiste em instalar diretamente sobre a camada de sublastro os módulos pré-moldados em concreto armado, com seis metros, cada, compostos por duas vigas longitudinais, atirantadas transversalmente por perfis metálicos galvanizados (Fig. 3), com as fixações de projeto embutidas e, posteriormente a instalação dos trilhos adequados à carga de Projeto sobre as palmilhas (About the T-Track System Backup Slides 24 Aug 2015 (4.8)).

a. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS DE FUNDAÇÃO

Um dos pré-requisitos para o sucesso do sistema é a característica dos solos de fundação.

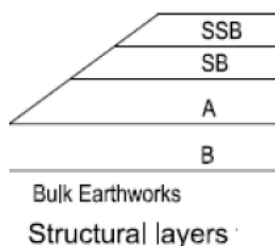
De acordo com as normas sul-africanas (SABS (2), Anexo 1), oriundas em grande parte das British Standards, a par da experiência acumulada pela TRANSNET (6) em mais de um século de operação ferroviária (www.transnetfreightrail-tfr.net (6)), resumem-se a seguir as principais características das camadas constituintes do corpo dos aterros:

Layer	CBR %	Min. % Modified AASHTO Compaction	Min. Elastic Modulus (E) MPa	Material description
Material AA	> 80	98 - 100	240	Crushed stone, Base quality
Material A	> 60	98	180	Crushed stone, Base quality
Material B	> 30	95	150	Natural gravel, sub-base quality
Material C	> 20	95	120	Natural gravel, lower sub-base quality
Material D	> 10	93	100	Gravel – soil, selected layer quality
In-situ	> 5	90	60	-

Tabela 1 – Características de solos (SABS (2))

b. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Em função da experiência adquirida, na África do Sul (Projeto Nacala, CVRD (9) e SABS (2)) a superestrutura ferroviária tem um dimensionamento padronizado, de acordo com as cargas por eixo e carga total estimada para a via, conforme a tabela a seguir. Associando as duas tabelas se obtêm as espessuras e as características dos solos de cada camada:



Carga/eixo Camada	Solo tipo	Espessuras (cm)				
		16t	19t	26t	32t	40t
SSB	AA	Dispensada				20
SB	A	Dispensada		20	30	20
B	B	20	20	20	30	30
A	C	20	25	20	25	30
Final terraplenagem	D	20	45	30	25	20
Corpo terraplenagem	Local	60				

Fig. 2 – Espessura padrão das camadas abaixo do lastro, para cada tipo de carga por eixo (SPOORNET)

Para o caso brasileiro, pode ser aproveitado este dimensionamento (www.transnetfreightrail-tfr.net (6)) ou adequá-lo a padrões nacionais, se conveniente, tendo-se em vista a carga a ser suportada pelo terreno de fundação (Manual Básico de Engenharia Ferroviária (10)). Entretanto a experiência acumulada por aquela operadora parece ser satisfatória para se aceitar este padrão, critérios estes adotados em Projetos da VALE (9) em Moçambique para transporte de carvão.

c. GEOMETRIA

O sistema permite as mesmas características geométricas de uma linha comum, seja em planta, aceitando até raios inferiores a 300 metros (figura a seguir de um pátio ferroviário), seja em perfil, com as rampas definidas pelos estudos operacionais. Para raios pequenos, são produzidos módulos mais curtos (com 4m) facilitando o ajuste à curvatura.

Isto permite não só a implantação de linhas novas, mas também a reabilitação de uma linha existente, pois é possível manter (ou melhorar) as características da via.

Para manter constante a distância entre os trilhos, as vigas são atirantadas transversalmente, utilizando-se perfis metálicos tipo I, galvanizados ou com a proteção anticorrosiva adequada às condições locais.



Fig. 3 – Tangente de 7km no deserto da Arábia (4.8)



Fig. 4 – Curva de raio 230 m no pátio de Ermelo (África do Sul), ao lado da antiga linha (26 ton./eixo)

d. TRILHOS E FIXAÇÕES

O sistema utiliza fixações elásticas padrão, usuais no mercado, compatíveis com os trilhos adotados (na imagem 5 com as fixações alemãs tipo Vossloh (7)).

As fixações são embutidas no concreto durante a premoldagem dos módulos, de forma similar à tecnologia convencional, com o uso de dormentes.



Fig. 5 – Trilhos implantados sobre Fixações tipo Vossloh (7)

No que respeita aos trilhos, sendo o apoio dos mesmos contínuo, o que diminui as tensões geradas pela sua flexão, podem ser adotados trilhos mais leves para a mesma carga por eixo. Isto foi confirmado em testes em laboratório credenciado de Cape Town, no Projeto de Apatity (Rússia (4.9), onde se substituíram trilhos U 50 por U33, nos 9 km de linha com 10 t/eixo para acesso à Mina) e na prática, como pode ser visto na Tabela e gráfico a seguir

SOLUÇÃO	TRILHO	ECONOMIA
Convencional	TR 57	
Tubular	TR 48	18 ton/km (31%)

Tabela 2 – Redução de trilho para a mesma carga por eixo

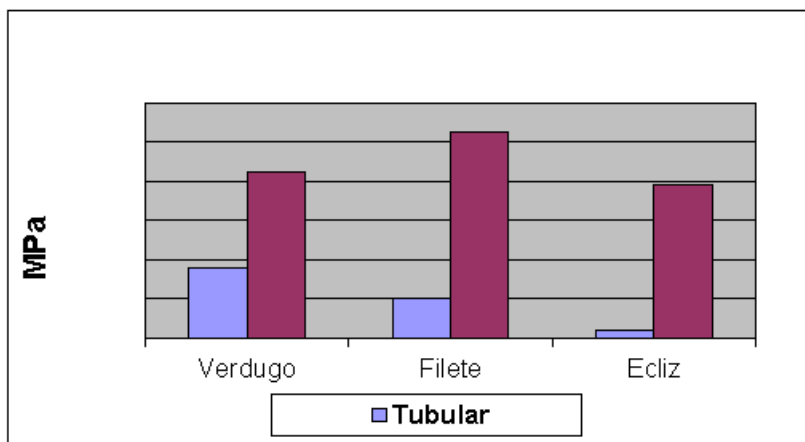


Fig. 6 – Teste de tensões nos trilhos (16 Milhões de Toneladas Brutas a uma velocidade de 40km/h)

e. AMV E PÁTIOS

Um dos problemas mais constantes de implantação e principalmente manutenção de vias férreas são os pátios e desvios de cruzamento, exigindo vários e diversificados aparelhos de mudança de via (AMV).

O sistema permite a instalação de AMVs nas diversas aberturas convencionais e a experiência tem demonstrado que a sua geometria se mantém constante durante a operação.

A sua instalação, sendo também modular e pré-moldada (4.3), é muito facilitada em relação ao sistema convencional, utilizando dormentes de madeira, evitando problemas ambientais.



Fig. 7 – Aparelhos de Mudança de Via (AMV) (4.3)

f. DRENAGEM

O Projeto de Drenagem deste tipo de solução deve ser bem estudado, pois, não existindo lastro, parte da precipitação pluviométrica (13) fica retida na parte interna da superestrutura, sendo muito importante retirá-la antes de sua infiltração causar a redução de capacidade de carga dos solos de fundação. Em suma, o Projeto de drenagem pode ser o convencional, apenas se cuidando desse detalhe da retirada das águas superficiais da parte interna das vigas de suporte dos trilhos (4.8, 10 e 13).



Fig. 8 – Detalhes de drenagem superficial (Pátio de Ermelo (4.8))

Em relação à drenagem profunda e dispositivos de transposição de talvegues (pontes e bueiros), não existe qualquer diferença em relação às soluções convencionais (10), recomendando-se apenas a verificação estrutural de bueiros capeados (10). No caso de reabilitação de uma linha existente, este procedimento deve se estender a todas as pontes e viadutos, o que é usual ser feito neste tipo de Projeto.

Entretanto, por receberem uma carga mais distribuída e sem o volume de brita do lastro, os projetos tipo de bueiros utilizados são normalmente estáveis estruturalmente, sem necessidade de qualquer adequação ou verificação estrutural.

Pela continuidade da estrutura de apoio, na prática tem sido observado que os danos causados por

enchentes anormais são inferiores à solução convencional (4.2), como se pode ver na figura a seguir.



Fig. 9 – Danos provocados por pluviosidade excessiva (4.2)

g. INSTALAÇÃO

Concluídos os serviços de terraplenagem e sub-lastro (4.5), neste caso se respeitando as declividades transversais adequadas, particularmente em curva, em duas águas em tangente e com a superelevação recomendada nas curvas (10), se implantam os módulos bem como os trilhos e se procede ao rejuntamento dos módulos.

O procedimento de soldagem dos trilhos e alívio de tensões (10) é idêntico também ao de uma superestrutura convencional, sem qualquer cuidado adicional.



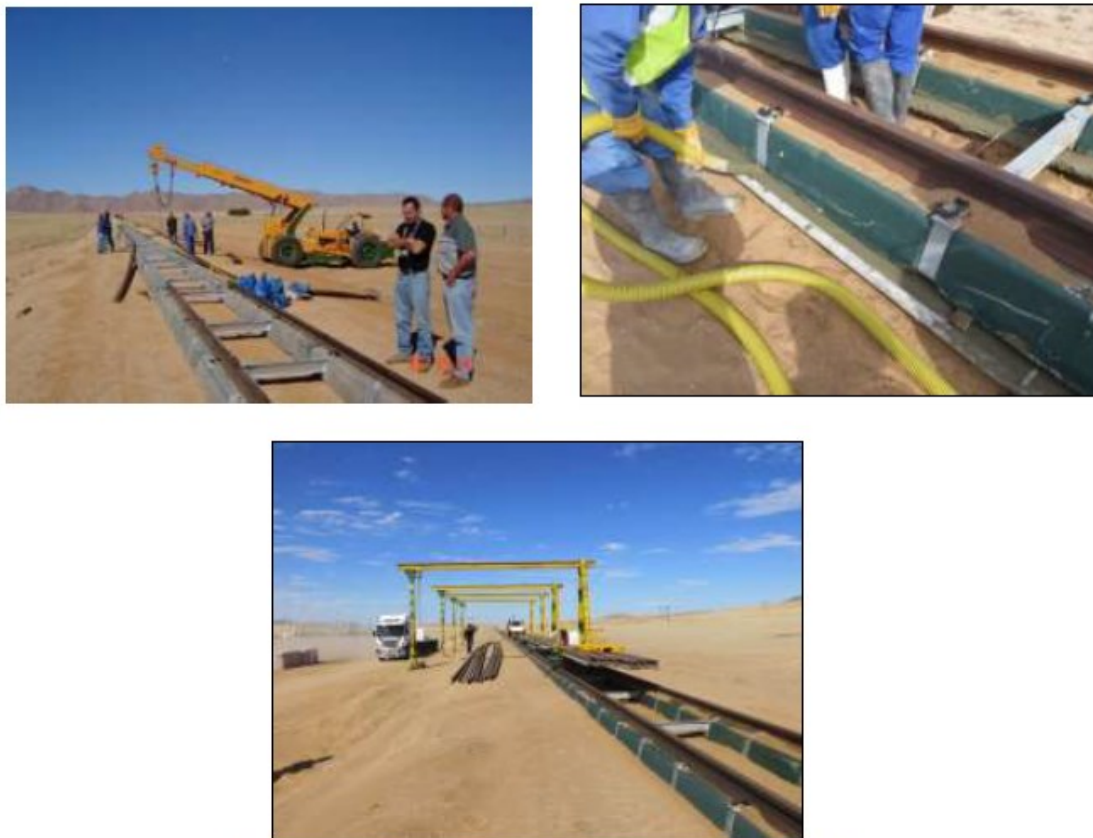


Fig 9 – Fases da implantação da superestrutura (4.5)

h. PASSAGENS DE NÍVEL

Passagens de nível (PN) podem ser executadas com módulos pré-moldados, encaixados entre os trilhos, complementando-se a parte externa com a solução de pavimentação adotada para a rodovia (About the T-Track System Level Crossings 27 Mar 2016 (4.3)). Os módulos das PN têm o comprimento múltiplo da distância entre as amarrações transversais, para facilitar o seu encaixe e amarração.

A entrada e a saída das PNs podem ser feitas no padrão brasileiro (11), quer no que respeita ao tipo de pavimento (adequado ao volume de tráfego), quer quanto à sinalização (rodo e ferroviária).



Fig. 10 – Passagem de nível implantada em Pan Station (África do Sul), no Corredor ferroviário de Maputo (4.3)

i. ESTAÇÕES DE PASSAGEIROS

Não só a implantação do sistema em estações de passageiros dos sistemas ferroviários (4.6), mas também a sua manutenção, é facilitada devido à inexistência de lastro simplificando o nivelamento com a plataforma tanto na implantação quanto durante a operação, pois os assentamentos diferenciais são praticamente nulos. Isso é atestado pela Railway Safety Regulator (entidade sul-africana de controle da segurança em ferrovias) que citou em seus relatórios (8) que entre as principais causas de acidentes em estações ferroviárias de passageiros se identifica o desnível entre a plataforma e os carros. Segundo se constatou em estatísticas (citadas no mesmo Relatório (8)) antes e após a implantação deste sistema em estações no Gautrain (metrô de Johannesburg a Pretoria) houve expressiva redução deste tipo de acidente.



Fig. 11 – Estação metroferroviária na África do Sul (4.6)

j. DUTOS PARA CABEAMENTO

Os cabos para sinalização e telecomunicações são embutidas nas vigas longitudinais pois as mesmas são concretadas com dutos de diâmetro apropriado (About the T-Track System 24 Aug 2015 (4.7)).



Fig. 12 – Detalhe da tubulação seca embutida para cabeamento de sinalização e de telecomunicações (4.7).

Isso é uma vantagem adicional pois protege os cabos contra vandalismo e danos ambientais.

3. VANTAGENS DO SISTEMA

O sistema apresenta várias vantagens, podendo ser destacadas:

a. AMBIENTE

Em termos ambientais (<http://www.atkinsglobal.com>, (3) citado em About the T-Track System 24 Aug 2015 (4.7)), o sistema tem diversas as vantagens pois:

- dispensando o uso de lastro de pedra britada não existe a necessidade de exploração de pedreiras para esta finalidade;
- a ausência de brita de lastro elimina os problemas de contaminação e facilita as providências para separação de produtos contaminantes no solo, muito em particular em estações, pátios e desvios de cruzamento (podem-se utilizar soluções convencionais);
- o volume de concreto utilizado, portanto a extração de areia e o consumo de cimento é inferior ao dos dormentes, também contribuindo para minimização dos problemas ambientais;
- Existe uma diminuição de volumes de terraplenagem e de sub-lastro (portanto de exploração de jazidas), pois a largura final da plataforma é menor.

b. PRAZO DE EXECUÇÃO

O prazo de implantação deste tipo de superestrutura é muito menor que o convencional, pois eliminam as etapas de colocação de lastro, nivelamento e socaria.

A plataforma do sub-lastro já recebe diretamente os módulos, cuja instalação é similar à da colocação dos dormentes.

Em termos de prazo de implantação, as demais tarefas são similares (infraestrutura, colocação de fixações e acessórios, soldagem dos trilhos e alívio de tensões, etc.).

c. CUSTO DE TERRAPLENAGEM

Inexistindo lastro, a largura final da plataforma tanto da terraplenagem quanto do sub-lastro pode ser significativamente reduzida, pois não existe o ombro do dormente e do lastro, bem como o talude do lastro, permitindo o trânsito do pessoal da manutenção da via com segurança, numa largura inferior.

Por este fato, em serviços de reabilitação de uma linha é possível se conviver com pequenas erosões que não afetem a estabilidade dos taludes (4.4) e seja prevenida a sua evolução com adequado tratamento.

Dependendo da declividade transversal do terreno, o volume de terraplenagem pode diminuir em até 40%, o que pode representar uma economia de quase 10% do custo de implantação da ferrovia (sem considerar o fornecimento de trilhos).

d. MANUTENÇÃO

Este tipo de superestrutura exige muito menos manutenção, pois só o fato de não possuir lastro de pedra britada elimina não só o problema da sua contaminação, mas também as operações periódicas de socaria e nivelamento.



Fig. 12 – Módulos e trilhos instalados num corte em caixão.

Não existe também a necessidade de troca periódica de dormentes. Não se tem notícia de quebra de vigas ao longo destas mais de três décadas de funcionamento, mas, aparentemente, em termos de manutenção, a troca de uma viga quebrada é similar à troca de um dormente.

O fato dos cabos serem embutidos em dutos dentro das vigas também minimiza os custos associados à sua reposição seja por furto, vandalismo ou envelhecimento precoce por agressão ambiental.

Por se tratar de uma estrutura contínua longitudinalmente a experiência tem mostrado (4.2) que os danos provocados por enchentes excepcionais são inferiores aos da estrutura convencional.

4. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE MANUTENÇÃO

Nos custos de implantação podem ser computadas as seguintes parcelas de redução:

- Redução do trilho necessário (a ser estimado, caso a caso, média de 10 a 20% do custo de fornecimento e transporte de trilho);
- Redução de volume de terraplenagem, pois ao eliminar o lastro e os ombros dos dormentes (sobra cerca de meio metro para cada lado depois dos trilhos) a largura das plataformas de cortes e de aterros é significativamente diminuída com a consequente economia de terraplenagem (a ser estimado, caso a caso, o valor pode não ser muito expressivo em virtude de larguras para a manutenção e segurança);
- Redução do custo de sub-lastro (entre 20 e 25%), pelos mesmos motivos acima terraplenagem (a ser estimado, caso a caso, o valor pode não ser muito expressivo em virtude de larguras para manutenção e segurança);
- Eliminação de fornecimento de brita para lastro e seu transporte e colocação na plataforma (na VALEC, FIOL, estes dois itens corresponderam a cerca de 21% do custo da superestrutura ou USD 32 mil/Km. Deve se deduzir deste valor o fornecimento e transporte e execução de sublastro);
- Eliminação de etapas como lastreamento, nivelamento e socaria (na VALEC, FIOL, estes dois itens corresponderam a cerca de 8% do custo da superestrutura ou USD 11 mil/Km);

No anexo 2 se mostra uma Tabela contendo, para os itens mais relevantes, consumos e custos por km para a média dos lotes 1 a 5 EF da FIOL (incluído pátios e desvios de cruzamento), em dólares americanos, mostrando uma redução de 90% ou USD 65 mil/km. Foi consultado também o SICRO (12), onde se constata, por exemplo, que o custo de execução de lastro de brita produzida é de R\$ 68,11/m³ contra R\$ 7,80/m³ para sublastro em solo estabilizado. Se usar brita comercial (que pode ser o caso em segmentos de pequena extensão, dada a dificuldade de se licenciar hoje uma pedreira) o custo do lastro britado sobe para mais de R\$ 100 (preço RJ julho/2017 (12)).

É de extrema importância se analisar com cautela este comparativo, porquanto se trata de obras de grandes dimensões (lotes de extensão superior a 100km), de bitola larga (1,60m), prazos contratuais exíguos (inferior a 3 anos), envolvendo também muitos AMVs, trilhos fornecidos pelo contratante e não foram considerados os dormentes (ou as vigas longitudinais), que, no caso em estudo correspondeu a mais de 40% do custo da superestrutura. Nesta condição, a redução do custo de implantação para estes itens, foi quase 10% do custo da superestrutura (USD 65 mil/km em 690 mil/km, anexo 2)

Em termos de manutenção há igualmente uma redução muito expressiva pois se eliminam várias tarefas de custo elevado e com impacto na operação:

- eliminado o problema de substituição de lastro contaminado;
- minimizadas ou eliminadas as operações de alinhamento, nivelamento e socaria;
- eliminado o problema de substituição de dormentes;

- em particular nas estações de passageiros é mais fácil a manutenção do nivelamento entre os carros de passageiros e as plataformas de embarque.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A experiência internacional, realizada para vários tipos de ferrovias e cargas permite constatar que a solução:

1. é tecnicamente viável;
2. reduz os custos de implantação;
3. reduz o prazo de implantação;
4. reduz custos de manutenção;
5. facilita a manutenção;
6. é vantajosa ambientalmente pois reduz a exploração de pedreiras e volume de terraplenagem e minimiza a contaminação do corpo da terraplenagem;
7. elimina o problema de contaminação do lastro.

Entretanto, dada a pequena extensão desta solução implantada no Brasil, recomendam-se estudos complementares para otimização de sua adaptação ao caso brasileiro, particularmente:

- a) O local de aplicação, relatórios de comportamento da solução e quais as providências para sanear eventuais problemas, caso tenham ocorrido. A informação que se dispõe, à época da elaboração deste artigo, é que não foi bem sucedida por problemas de drenagem superficial.
- b) Deve ser estudada também a correlação entre os critérios técnicos da África do Sul com os brasileiros ou se é necessário outro tipo de estudo geotécnico local para se aferir se a tensão transmitida ao terreno é compatível com a capacidade de suporte.
- c) O tipo de ligação entre as vigas longitudinais em perfis metálicos galvanizados tem excelente comportamento em regiões secas ou desérticas (como nos casos citados dos desertos da Namíbia, Arábia ou na região de Johannesburg), mas é necessária a confirmação se há necessidade de algum tipo de proteção mais eficaz em regiões litorâneas ou de maior teor de umidade do ar (Norte), bem como em regiões de clima temperado como os estados do Sul do Brasil.

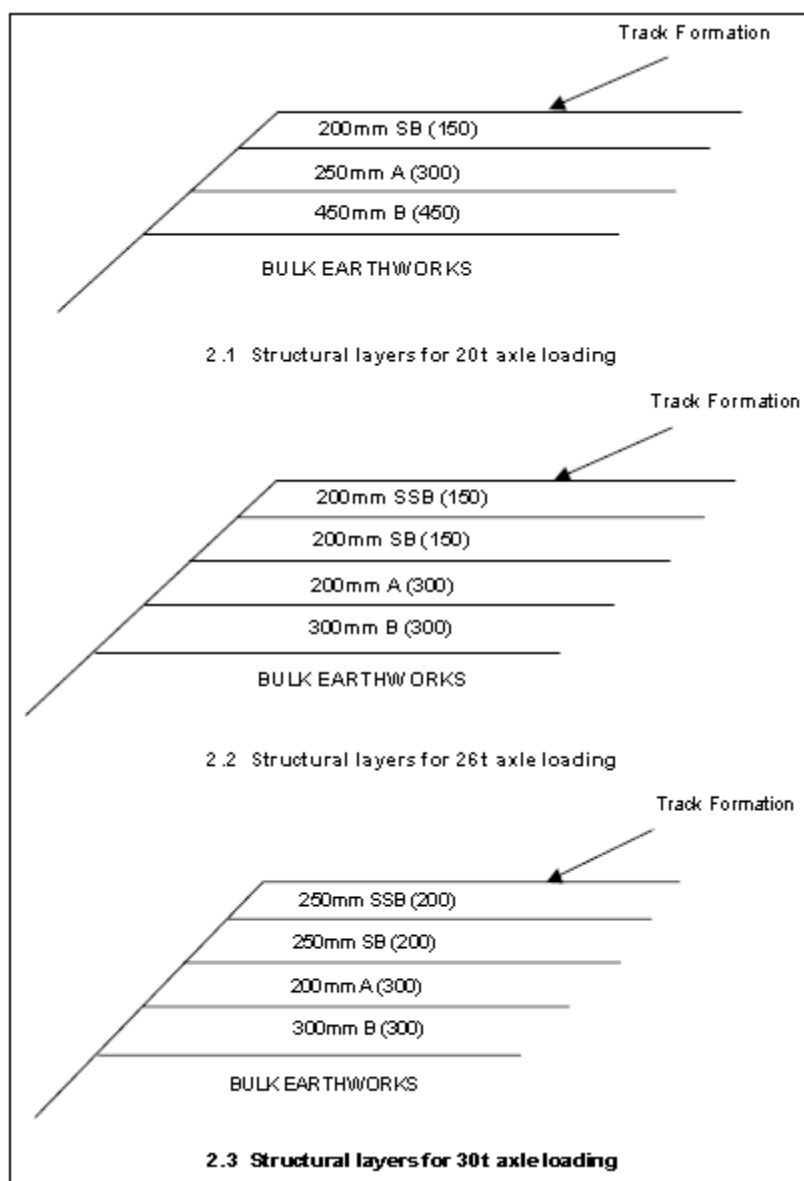
BIBLIOGRAFIA

- (1) <https://pt.wikipedia.org> em 16/11/2016
- (2) Normas SABS (South African Bureau of Standards)
- (3) <http://www.atkinsglobal.com/>
- (4) Apresentações da Tubular Track:
 - (4.1) Ashipla, G, Küsel, P. e Merwe, J. – About the T-Track System Govt of Namibia 28 Apr 2016
 - (4.2) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System Flood Resilience 29 Mar 2016
 - (4.3) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System Level Crossings 27 Mar 2016
 - (4.4) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System Line Rehab Rebuild Notes 9 Oct 2015
 - (4.5) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System Live Track Grouting Procedure 27 Aug 2015
 - (4.6) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System LRT 19 Nov 2015;
 - (4.7) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System 24 Aug 2015
 - (4.8) Merwe, J. e Küsel, P. – About the T-Track System Backup Slides 24 Aug 2015
 - (4.9) Merwe, J., Küsel, P. e Tengström, C – Precast Track Apatit Mine (Russia), 4 Sep 2015
- (5) <http://www.tubulartrack.co.za>
- (6) www.transnetfreightrail-tfr.net
- (7) www.vossloh-rail-services.com
- (8) SANS 3000-1 (2009) edition 2, RSR State of Safety 2013-14, p39
- (9) CVRD – Projeto da linha de Nacala, Moçambique, Joint Venture AFRICON / COREMA, Pretoria, 2005, DRG TYP / 01.
- (10) Nabais, R. J. S. et ali: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, Oficina de Textos, 2014, S. Paulo
- (11) VALEC: Especificação 80-ES-028A-23-8008 (Passagens em Nível)
- (12) SICRO RIO DE JANEIRO, JULHO 2017 (www.dnit.gov.br)
- (13) DNIT, Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (IPR 715) – 2005

ANEXO 1

Exigências padrão Transnet (S410) para superestrutura ferroviária

Layer	CBR %	Min. % Modified AASHTO Compaction	Min. Elastic Modulus (E) MPa	Material description
Material AA	> 80	98 - 100	240	Crushed stone, Base quality
Material A	> 60	98	180	Crushed stone, Base quality
Material B	> 30	95	150	Natural gravel, sub-base quality
Material C	> 20	95	120	Natural gravel, lower sub-base quality
Material D	> 10	93	100	Gravel – soil, selected layer quality
In-situ	> 5	90	60	-



Depth (m)	19 TAL				26 TAL				32 TAL				40 TAL								
	> 16 TAL																				
0																				0	
50	Material B			Material B			Material A					Material A								Material AA	50
100	Material B			Material B			Material A					Material A								Material AA	100
150	Material B			Material B			Material A					Material A								Material AA	150
200	Material B			Material B			Material A					Material A								Material AA	200
250	Material C			Material C			Material B					Material A								Material A	250
300	Material C			Material C			Material B					Material A								Material A	300
350	Material C			Material C			Material B					Material B								Material A	350
400	Material C			Material C			Material B					Material B								Material A	400
450	Material D			Material C			Material C					Material B								Material B	450
500	Material D			Material D			Material C					Material B								Material B	500
550	Material D			Material D			Material C					Material B								Material B	550
600	Material D			Material D			Material C					Material B								Material B	600
650	In-situ			Material D			Material D					Material C								Material B	650
700	In-situ			Material D			Material D					Material C								Material B	700
750	In-situ			Material D			Material D					Material C								Material C	750
800	In-situ			Material D			Material D					Material C								Material C	800
850	In-situ			Material D			Material D					Material C								Material C	850
900	In-situ			Material D			Material D					Material D								Material C	900
950	In-situ			In-situ			In-situ					Material D								Material C	950
1000	In-situ			In-situ			In-situ					Material D								Material C	1000
1050	In-situ			In-situ			In-situ					Material D								Material D	1050
1100	In-situ			In-situ			In-situ					Material D								Material D	1100
1150	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								Material D	1150
1200	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								Material D	1200
1250	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								In-situ	1250
1300	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								In-situ	1300
1350	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								In-situ	1350
1400	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								In-situ	1400
1450	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								In-situ	1450
1500	In-situ			In-situ			In-situ					In-situ								In-situ	1500

ANEXO: 2

Comparativo de custo médio por quilometro da solução convencional, com dormentes, e a solução sem dormentes e lastro.

ITEM	UNID.	Unitário	CONVENCIONAL		LONGITUDINAL	
			Consumo	Total	Consumo	Total
Substituição de brita por laterita						
Fornecim. Brita/km	m³	19,38	542,3	10.509,77	-	-
Fornecim. Laterita/km	m³	6,29	-	-	326,2	2.051,80
Transporte Brita/km	t.km	0,64	27.145,9	17.373,39	-	-
Transporte . Laterita/km	t.km	0,58	-	-	5.389,5	3.125,91
Lastramento	km	15.582,97	1,0	15.582,97	-	-
Socaria	km	29.017,62	1,0	29.017,62	-	-
Execução de sublastro	m³	6,29	-	-	326,2	2.051,80
TOTAL / KM				72.483,75		7.229,51

Obs.:

- Preços em dólar americano
- Consumos médios por km dos lotes 1 a 5EF da FIOL (698km). Incluindo desvios e pátios de cruzamento;
- Preços de 03/2010, cotação do dólar 1,80R\$/USD;
- Bitola larga (1,60m);
- Cada lote > 110km.



21^a | REUNIÃO DE
RPU | PAVIMENTAÇÃO URBANA

12 e 13 de setembro de 2018 | Transamerica Expo, São Paulo

Submissão de Trabalhos Técnicos para a Revista Pavimentação

- 1. A Revista PAVIMENTAÇÃO é uma publicação técnica e científica de divulgação da ABPv. As contribuições para a revista devem ser de caráter exclusivamente técnico e estão abertas aos sócios e aos profissionais da Engenharia Rodoviária, Ferroviária e Aeroportuária nacional e internacional.
- 2. A Revista pode também apresentar eventualmente matérias especiais redigidas pelo seu corpo técnico editorial e pela diretoria da ABPv como forma de divulgação de opiniões ou comentários considerados relevantes como “voz” da ABPv.
- 3. Os artigos e contribuições como nota técnica, inéditos, podem ser enviados em qualquer época do ano para serem publicados em uma das quatro edições anuais ou até no ano seguinte dependendo do número de matérias selecionadas.
- 4. Os trabalhos, sejam científicos, sejam técnicos ou de outra natureza encaminhados para eventual publicação, serão submetidos a avaliação de três profissionais que compõem o Comitê Técnico-Científico da Revista, escolhidos de acordo com o perfil do material a ser julgado. Aos avaliadores não será dado a conhecer os autores do artigo ou trabalho antes da avaliação e também é vedada a divulgação para os autores da identidade dos avaliadores.
- 5. Os avaliadores recebem da ABPv um questionário indicativo dos itens a serem avaliados em cada contribuição para Revista PAVIMENTAÇÃO, podendo sugerir três opções de encaminhamento:
 - O trabalho é aceito para publicação;
 - O trabalho não é aceito para publicação e será então devolvido aos autores;
 - O trabalho poderá vir a ser aceito caso os autores concordem em fazer algumas modificações sugeridas por um ou mais avaliadores.
- 6. Cabe à Diretoria da ABPv julgar os casos omissos e autorizar a publicação de contribuições de caráter não técnico, eventualmente, em função dos assuntos abordados e da disponibilidade de espaço.
- 7. O resultado da avaliação de qualquer material encaminhado à Revista PAVIMENTAÇÃO será levado ao conhecimento dos autores dos mesmos informando o destino que será dado à sua contribuição que pode ser: publicação imediata no próximo número a ser lançado, publicação em número subsequente devido ao excesso de contribuições ou não publicação.
- 8. O Autor ou autores das contribuições aceitas para publicação devem concordar com a reprodução de seu material sem nenhum direito a qualquer custo de direitos autorais já que a ABPv é uma entidade sem fins lucrativos e a Revista PAVIMENTAÇÃO destina-se preferencialmente aos sócios e não será utilizada para venda com fins lucrativos.
- 9. As contribuições para a Revista PAVIMENTAÇÃO devem ser encaminhadas de preferência por meio digital, podendo estar em formato PDF somente na fase de julgamento pelo Comitê. Os originais deverão ser produzidos em programa Microsoft Word. As figuras deverão ser fornecidas em separado, com resolução mínima de 300dpi. Caso a foto seja digital, a resolução deverá ser de no mínimo de 3.2 mega pixels. Não sendo as fotos do(s) autor (es), este(s) será(ão) responsável(eis) por declarar os créditos das mesmas e obter a autorização para publicação. Nos gráficos, evitar utilizar cores e dar preferência a símbolos que possam distinguir claramente as informações relevantes da figura. Nas tabelas não devem ser utilizadas formatações, bordas ou sombreamentos. As tabelas devem ser bem nítidas, identificadas com numeração própria e título. As equações podem ser criadas por um aplicativo externo, podem ser feitas com fontes de símbolos ou com o editor de equações do próprio programa usado para o trabalho. Em qualquer caso, elas devem ser numeradas consecutivamente ao longo do documento. As unidades deverão ser expressas no SI.
- 10. As contribuições podem ser de no mínimo 2 e de no máximo 15 páginas em formato A4, editadas em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. Número maior de páginas poderá ser aceito em casos excepcionais a critério da Editoria da Revista.
- 11. Os textos deverão ser escritos em português, em linguagem adequada e correta, sendo de responsabilidade do(s) autor(res) a revisão ortográfica, as referências bibliográficas devem seguir o padrão ABNT, tipo por citação de sobrenome e ano (ex. MATHEUS, 1994) e preferencialmente os artigos devem apresentar um resumo de 200 a 300 palavras, resumo em inglês de igual conteúdo do resumo em português (ABSTRACT) e indicar de 3 a 5 palavras-chaves. Artigos em outros idiomas podem eventualmente serem aceitos a critério da Editoria da revista.
- 12. Estas especificações podem ser eventualmente revistas a critério da Editoria da Revista e da Diretoria da ABPv a qualquer tempo, cabendo aos artigos e contribuições já submetidos se adequarem seguindo as regras existentes à época da submissão do seu material. Associe-se e acesse todas as edições da revista na íntegra. Colabore para a manutenção da Revista Pavimentação enviando seu artigo para abpv@abpv.org.br, sugestões e se associando à ABPv.



www.abpv.org.br

[INSCREVA-SE EM EAD](#)

[ENSINO A DISTÂNCIA](#)

[DRENAGEM URBANA](#)

[CLICANDO AQUI!](#)

[CLIQUE AQUI!](#)

[ANUIDADE DE 2018](#)

Sócio individual - pessoa física

ATENÇÃO: Se estiver inadimplente com outros anos, entre em contato com a Secretaria

RESPONDA A PESQUISA E ESCOLHA EM QUAL CIDADE DESEJA A REALIZAÇÃO DE SEU(S) CURSO(S) .

CLIQUE NO(S) DE SEU INTERESSE , PREENCHA AS INFORMAÇÕES PARA QUE RECEBA A PROGRAMAÇÃO AO TÉRMINO DESTE LEVANTAMENTO!

- ◆ [AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E MEIO AMBIENTE - PRESENCIAL](#)
- ◆ [BÁSICO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [CONTROLE DA QUALIDADE EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [CUSTOS E ORÇAMENTOS RODOVIÁRIOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [DRENAGEM – URBANA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [DRENAGEM DE ESTRADAS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [ENGENHARIA FERROVIÁRIA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [HDM 4 - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MATERIAIS E MISTURAS ASFÁLTICAS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MECÂNICA DOS PAVIMENTOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [MÉTODO BAILEY DE DOSAGEM - PRESENCIAL](#)
- ◆ [PRÁTICO DE MATERIAIS ASFÁLTICOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [PRÁTICO DE SOLOS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS - PRESENCIAL](#)
- ◆ [QUALIDADE DE MATERIAIS E SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - PRESENCIAL](#)
- ◆ [TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS - CONSTRUÇÃO, QUALIDADE E CASOS DE OBRAS - PRESENCIAL](#)

RESPONDA A PESQUISA E ESCOLHA EM QUAL MÊS DESEJA A REALIZAÇÃO DE SEU(S) CURSO(S)!

CLIQUE NO(S) DE SEU INTERESSE , PREENCHA AS INFORMAÇÕES PARA QUE RECEBA A PROGRAMAÇÃO AO TÉRMINO DESTE LEVANTAMENTO!

- ⇒ [AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E MEIO AMBIENTE - EAD](#)
- ⇒ [BÁSICO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA - EAD](#)
- ⇒ [CONTROLE DA QUALIDADE EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - EAD](#)
- ⇒ [CUSTOS E ORÇAMENTOS RODOVIÁRIOS - EAD](#)
- ⇒ [DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS - EAD](#)
- ⇒ [DRENAGEM DE ESTRADAS - EAD](#)
- ⇒ [DRENAGEM URBANA - EAD](#)
- ⇒ [ENGENHARIA FERROVIÁRIA - EAD](#)
- ⇒ [HDM 4 - EAD](#)
- ⇒ [MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS - EAD](#)
- ⇒ [MATERIAIS E MISTURAS ASFÁLTICAS - EAD](#)
- ⇒ [MECÂNICA DOS PAVIMENTOS - EAD](#)
- ⇒ [MÉTODO BAILEY DE DOSAGEM - EAD](#)
- ⇒ [PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS - EAD](#)
- ⇒ [QUALIDADE DE MATERIAIS E SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA - EAD](#)
- ⇒ [TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS - CONSTRUÇÃO, QUALIDADE E CASOS DE OBRAS - EAD](#)