

Análise Técnica Visando a Integração das Ferrovias de Carga no Território Nacional

Technical Analysis Aiming the Integration of Freight Railways in the National Territory

Gustavo Santos Rodrigues Vieira¹, Renato Eduardo Marques Fiumari², Fernando Luiz de Souza Prado³

Resumo

O transporte ferroviário se mostra uma alternativa capacitada para melhorar o sistema de transporte de carga do Brasil, porém é necessário promover a sua integração, assim como entre os outros modais. Este trabalho propõe uma análise da viabilidade geométrica e técnica de uma alternativa para solucionar os problemas de divergências de bitolas na malha ferroviária brasileira através da bitola mista. Para esta análise, foi feita uma revisão da literatura e normas, para identificar as características geométricas através de fórmulas e dados com fim de encontrar os empecilhos e os pontos em comum das bitolas métrica e larga. Foi obtido os resultados provindos das equações encontradas, onde foi observado que a larga terá mais desvantagens de implantação junto a um traçado priorizado à bitola métrica do que a implantação da métrica em um traçado geométrico de via larga, porém em ambas integrações a bitola secundária sofre perdas. Então deve-se procurar planejar as novas construções e as futuras manutenções para ocorrer a implantação da espera de outras bitolas, assim, possibilitando a integração da malha ferroviária.

Palavras-chave: Ferrovia. Transporte de carga. Geometria da via. Bitola mista.

1. Introdução

Segundo Ferreira (2009), o Brasil conta com diversos empecilhos ao modal ferroviário, além da falta de investimento oferecido, tanto pelo setor público, quanto pelo privado, a malha ferroviária sofre com a falta de integração e interligação entre as ferrovias que trabalham com diferentes padrões.

De acordo com Ferreira (2012), a interoperabilidade tem a capacidade de permitir a circulação sem interrupção de maneira segura, baseando-se nas condições regulamentares, técnicas e operacionais, permitindo que um comboio circule em diversas redes ferroviárias.

¹ gus.tavotur@hotmail.com, Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade de Engenharia Civil.

² renatofiumari@gmail.com, Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde – UniRV, Faculdade de Engenharia Civil.

³ fernando.prado@unirv.edu.br, Professor Mestre, Universidade de Rio Verde – UniRV, Faculdade de Engenharia Civil.

A participação das ferrovias na produção de transporte é tão pequena que coloca o Brasil junto a países que têm extensões territoriais significativamente menores. Em termos comparativos, a Alemanha tem a área de 357 mil km², tendo a densidade de km de ferrovia por cada mil km², cerca de mais de 37 vezes superior ao Brasil que tem 8,516 milhões de km² de área territorial (CURY, 2007), como visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Densidade ferroviária

Países	Extensão da malha ferroviária (km)	Área territorial (km ²)	Densidade
Alemanha	45.514	357.120	127,45
França	32.682	545.631	59,9
EUA	194.731	9.158.960	21,26
China	65.650	9.326.410	7,04
Canadá	64.994	9.220.970	7,05
Índia	63.518	2.973.190	21,36
Rússia	87.157	16.995.800	5,13
Brasil	28.556	8.456.510	3,38

Fonte: Vilaça (2008).

Apesar de ser claro o que precisa ser feito, é esperado que as atuais concessionárias dificultem a integração das bitolas pela bitola mista, pois esta integração não favorecerá a concessionária que utiliza a bitola larga, visto que não haverá tráfego mútuo. Isto se justifica pelo fato de que a rede de bitola métrica não receberá composições ferroviárias de bitolas mais largas (FILOMENO, 2008).

Segundo Burlamaqui⁴ (1945 *apud* LANG, 2007), desde a década de 40 já se notava várias complicações sofridas pela malha ferroviária brasileira, como as más condições técnicas das vias principais, a ascendência da bitola estreita e os traçados antieconômicos.

Entre a bitola métrica e a larga, a desigualdade do custo de implantação é bastante relevante em regiões acidentadas, devido aos ângulos das curvas, inclinação, capacidade dos trilhos, alturas dos túneis e das pontes, entre outros. Já a diferença do desempenho operacional das duas bitolas é equivalentemente pequena em terrenos acidentados, pois

⁴ BURLAMAQUI, J. L. Evolução Necessária das Vias Férreas Brasileiras. *Revista do Clube de Engenharia - abril, maio e junho*, Rio de Janeiro, 1945.

trabalhariam em menores velocidades, poderiam se limitar no volume de carga por vagão e influenciariam na potência máxima das locomotivas (CURY, 2011).

No Brasil de acordo com CNT (2018) existem 30.485 km de extensão de malha ferroviária referidas a 2017, sendo 73,94 % de bitola métrica, 24,38 % de bitola larga e 1,69 % de bitola mista.

A bitola mista é caracterizada por uma via férrea com três ou mais trilhos, assim permitindo o acesso de veículos com diferentes bitolas (DNIT, 2016).

Segundo Oliveira⁵ (1978 *apud* LANG, 2007) a preferência pela bitola estreita no Brasil se resultou do menor custo de implantação, que na época da construção das ferrovias era o que se tinha como propósito.

Segundo Brina (1988) e Cury (2011), a bitola definida como padrão no Brasil é a de 1,6 m, conhecida como bitola larga, estabelecida no primeiro governo militar.

Segundo Cury (2011), as bitolas largas demonstram melhor desempenho operacional, pois admitem maior estabilidade lateral, que proporciona maiores velocidades na via, inclusive nas curvas, além de diminuir o risco de tombamentos e permitirem maiores volumes de carga. São mais comuns de serem implantadas em terrenos planos.

Constata-se na comparação feita por Brina (1988), que o aproveitamento na bitola métrica é superior em questão a razão da relação lotação e peso total comparado a larga. Como exemplo, Nabais (2014), cita que na Estrada de Ferro Vitória a Minas de bitola métrica comparada a ferrovias de bitola larga tem uma capacidade de tráfego de trabalho superior.

É concordado que a padronização da bitola é fundamental para a economicidade do êxito comercial de uma malha ferroviária e não a dimensão da bitola. A bitola em si não interfere na eficiência do escoamento que os operadores de ferrovias buscam, devido a isto a padronização da bitola deve ocorrer para o tipo que demandará o menor custo de operação, reparo e implementação (ARAÚJO, 1986).

“A bitola é uma característica fundamental tanto do traçado como da exploração ferroviária. Só um profundo estudo técnico e econômico permitirá, em cada caso, chegar-se à solução mais conveniente” (BRINA, 1988, p. 7).

De acordo com Paiva (2016) o projeto geométrico horizontal, vertical e da seção transversal típica caracterizam a geometria da via férrea. Complementado por Nabais (2014), cita que o bom funcionamento de uma linha férrea precisa principalmente, da adaptação de sua geometria, analisa-se a via em questões de planimetria e altimetria.

⁵ OLIVEIRA, B. M. **Problemas Ferroviários Brasileiros**. Belo Horizonte, Brasil. Universidade Federal de Minas Gerais. 1978. 40 f.

As seções transversais das vias férreas são caracterizadas pelos taludes de corte e/ou aterro e seu elemento principal, a plataforma de terraplenagem, sobre esta continua a construção da superestrutura, que é constituída por lastro, sublastro, dormentes e trilhos (SANTA RITA, 2015).

O projeto em planta das vias férreas é análogo ao das rodovias tendo trechos retilíneos e curvilíneos, tendo diferenças particularmente nas curvas, as ferrovias são mais exigentes com suas propriedades do que as rodovias, possuindo maiores raios mínimos. Isto ocorre devido a sua própria estrutura e veículo utilizado (PORTO, 2004).

O perfil de uma ferrovia é altamente controlado pelas rampas máximas permitidas, além do uso de amplos raios e adequada continuidade apresentadas nas curvas verticais, assim o esforço na locomoção não será excessivo. Sendo estas descumpridas ocasionaria no elevado consumo de combustível, menor a capacidade de carga, desgastes das vias férreas e dos materiais rodantes devido ao seu extenso comprimento e as robustas cargas transportadas (SANTA RITA, 2015).

Neste trabalho será abordado o estudo geométrico da integração de bitolas, visto que a malha ferroviária e seu percentual de escoamento de cargas é relativamente pequeno comparado ao modal rodoviário do Brasil. Sobre este aspecto, este trabalho busca contribuir com este problema através de análises geométricas entre as bitolas buscando uma alternativa para solucionar o problema de divergência das bitolas brasileiras com enfoque no uso de um sistema misto de bitolas.

1.1. Objetivo geral

O presente estudo propõe executar uma análise técnica com foco nas características geométricas entre as bitolas métrica e larga atuantes no escoamento do transporte de carga, visando identificar as diferenças e semelhanças entre ambas e os consecutivos impactos ocorridos na implantação, para se obter os empecilhos de uma possível integração visando um sistema misto de bitolas.

1.2. Objetivos específicos

Buscar as equações relevantes dos parâmetros geométricos elaboradas por diversos autores, para assim analisar o conjunto de fórmulas e obter os valores mais críticos.

Elaborar a análise comparativa dos parâmetros geométricos das bitolas buscando as diversas opções, para encontrar a melhor solução da possibilidade de implantação da bitola métrica em um traçado em bitola larga e a viabilidade de implantar a bitola larga em um traçado de bitola métrica.

2. Material e métodos

Através da pesquisa realizada em obras literárias renomadas e normas ferroviárias buscou-se as definições e os fatores relevantes às características da geometria da via para as bitolas métrica e larga, assim como as correspondentes expressões e dados matemáticos dos parâmetros do projeto geométrico horizontal, vertical e da seção transversal.

A partir da escolha do veículo e de suas propriedades, foi buscado com o auxílio no *software* Microsoft Excel® os raios mínimos, velocidades, superelevações, superlarguras, comprimentos de transição, rampas verticais, comprimentos da curva vertical e raios verticais, e posteriormente realização da comparação de seus gabaritos normatizados.

Para assim desenvolver-se a análise comparativa entre as bitolas, com finalidade de se obter as diferenças e igualdades entre ambas, identificando os empecilhos e oportunidades da viabilidade técnica, para a implantação da bitola métrica em um traçado de bitola larga e vice-versa, com suas respectivas mudanças, para gerar uma via férrea de bitola mista utilizando ambas as bitolas no decorrer das manutenções das ferrovias e nas que seriam ainda construídas.

2.1. Definição e aplicação das expressões das características geométricas ferroviárias

Os componentes dos projetos geométricos são os trechos retilíneos, curvas horizontais e verticais, e as seções transversais. Sendo analisado o conjunto de critérios de cada um desses componentes. Para esta análise a entrada de dados é decomposta na seleção e definição dos dados do veículo ferroviário e os dados geométricos da via férrea.

Segundo Nabais (2014) somente os critérios de segurança são necessários nas considerações de projeto para ferrovias que operam trens de carga.

- Dados da composição

Segundo Paiva (2016), uma das primeiras características a ser definida é o veículo ferroviário e suas correspondentes dimensões e informações.

A locomotiva utilizada como base foi a do modelo U-20C, produzida pela G.E.B.S.A, sendo uma locomotiva diesel-elétrica, utilizada em ferrovias de bitola métrica e larga, pois pode ser adaptada para tal. Foi alterado suas dimensões para as máximas admitidas para os materiais rodantes segundo a ABNT NBR 12915 (2009) e as suas alturas de centro de gravidade, de acordo com as bitolas métrica e larga, para assim se conseguir maiores diferenças entre os resultados de ambas. Suas características são apresentadas no Anexo A.

2.2. Características geométricas da via férrea

- Raio mínimo

O mínimo almejado para se inserir um veículo nas curvas é com o raio de inscrição livre em que o eixo do veículo segue a direção do raio da curva, este é expresso pela equação 1 no Anexo B (BRINA, 1988), sua representação é feita na Figura 1.

De acordo com Brina (1988) para se evitar o escorregamento da roda externa do veículo utiliza-se o raio mínimo expresso pela equação 2.

Segundo Brina (1988) é adotado para o raio mínimo correspondente a velocidade máxima a equação 3. Paiva (2016) também expõe uma equação definida com base na velocidade máxima, em que o veículo pode circular, exposta na equação 4.

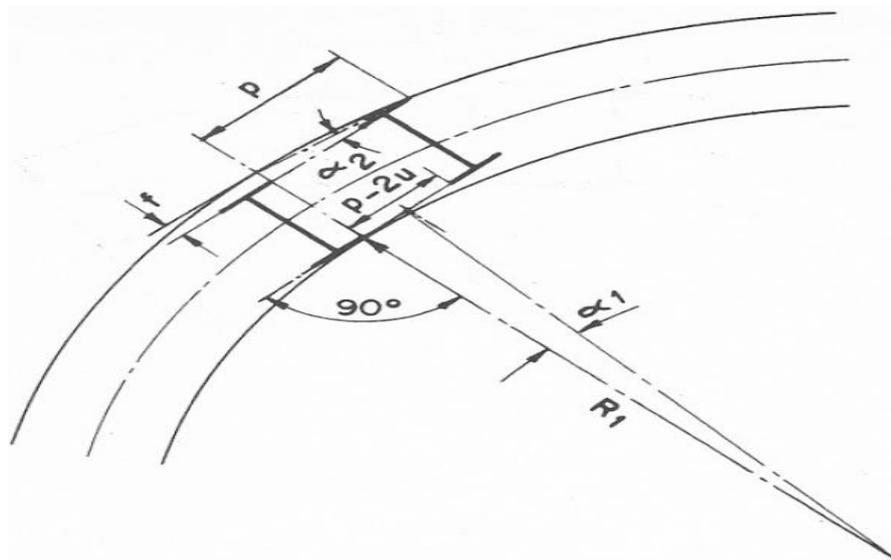


Figura 1 – Inscrição do trapezoidal do veículo no raio mínimo da curva horizontal
Fonte: Brina (1988).

- Velocidades máxima e mínima

Segundo Paiva (2016) a velocidade de projeto deve ser um dos primeiros parâmetros a ser estabelecido para se dar início ao projeto geométrico, esta é a velocidade máxima permitida em que a composição ferroviária circule com segurança. Para não ocorrer o excesso de qualquer degradação horizontal ou vertical da ferrovia, a velocidade sempre é a componente que se busca reduzir. Definida pela equação 5 no Anexo C.

A velocidade limite é resultante da adoção do raio mínimo, superelevação e superlargura da via, devendo se considerar o critério de segurança para os trens de carga, sendo exposta pela equação 6 utilizada para bitolas de 1 m e 1,6 m (BRINA, 1988).

De acordo com Nabais (2014), a velocidade limite é determinada pelas equações 7 e 8 para trens carregados.

A velocidade mínima segundo Brina (1988), para as composições de carga trafegarem em ferrovias com trens de passageiros, é expressa pela equação 9.

- **Superelevação**

Nas curvas o veículo ferroviário fica exposto a atuação da força centrífuga, que causa o desgaste dos frisos das rodas e dos trilhos forçando um contra o outro no lado externo da curva, provocando, além do desconforto no escoamento, o tombamento ou descarrilamento do trem (BRINA, 1988).

Segundo Brina (1988), para combater esta ação se utiliza a superelevação, que é definida como a desigualdade de níveis entre os trilhos que são inclinados, erguendo o trilho externo, sua representação é mostrada na Figura 2. A superelevação teórica é aquela imposta a anular totalmente a força centrífuga atuante nas curvas. Sua equação 10 do Anexo D pode ser utilizada para as diferentes bitolas. Complementado por Steffler (2013) a superelevação teórica serve somente para base de cálculos, não é utilizada devido a variação de cargas e velocidades.

No caso dos trens de carga, a superelevação prática é verificada pelo critério de segurança, que garante a estabilidade do trem por meio dos coeficientes de segurança, mesmo não equilibrando parte da força centrífuga, criando a aceleração descompensada (BRINA, 1988). A equação 11 expõe este critério.

Para trens parados ou trens em altas velocidades, as forças atuantes devem ter sua resultante contida no terço médio central da bitola usada. Com o valor da excentricidade da resultante em função da velocidade sendo considerada se pode calcular a superelevação devido a excentricidade (BRINA, 1988), exposta pela equação 12.

A superelevação máxima em milímetros segundo a norma brasileira pode abranger até 125 vezes a bitola da via férrea em metros. Resultando na equação 13 para as bitolas (BRINA, 1988).

Segundo Nabais (2014) e Paiva (2016) na Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA e nos projetos da Companhia Brasileira de trens Urbanos – CBTU as ferrovias brasileiras adotam como superelevação máxima o valor de 10% da bitola, sendo para bitola larga e para a bitola métrica os valores expostos na equação 14.

Segundo Brina (1988), para determinar a superelevação máxima de modo racional garantindo a estabilidade do veículo parado em curva, a dois métodos, para garantir segurança exposta na equação 15 e segundo a excentricidade mostrada na equação 16.

De acordo com Paiva (2016), a superelevação mínima deve ser calculada pois pode ocorrer ainda a atuação do valor remanescente da aceleração centrípeta, então se calcula a superelevação faltante para as bitolas métrica e larga expostas pelas equações 17 e 18.

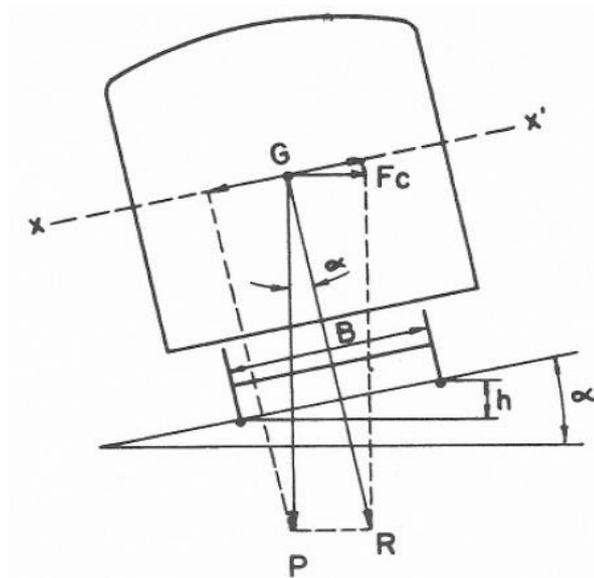


Figura 2 – Aplicação de superelevação para combater a força centrífuga
Fonte: Brina (1988).

- Superlargura

As bitolas possuem suas dimensões alargadas levemente, nas curvas afastando o trilho interno, para favorecer a inscrição do veículo e minimizar os esforços, sendo este aumento definido como superlargura, usualmente na prática varia de 1 a 2 cm (BRINA, 1988). Esta representação é feita na Figura 3.

Segundo Carvalho (1973), para se calcular a superlargura os critérios geralmente são empíricos. Sua determinação para as bitolas larga e métrica é apresentada nas equações 19 e 20 do Anexo E, respectivamente, onde ambas admitindo 2 cm como valor limite para a superlargura.

Segundo Brina (1988) a partir de 500 m de raio, não se aplica a superlargura nas curvas, de acordo com a equação 21. Também é apresentada a equação 22 sendo aplicada em curvas, com raio de até 1.200 m.

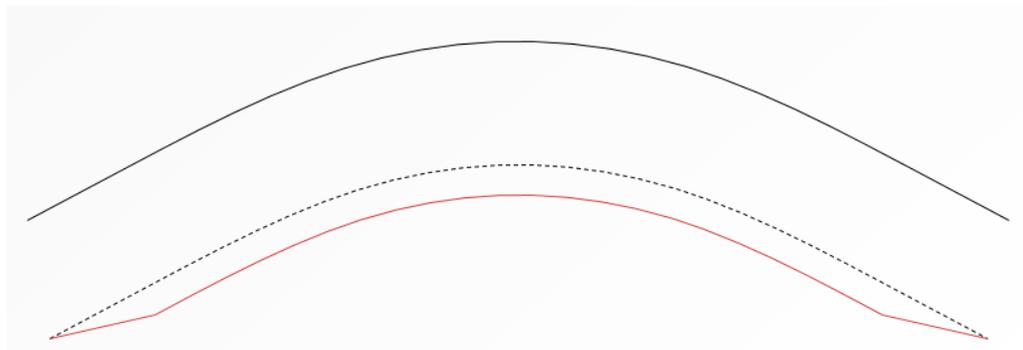


Figura 3 – Aplicação da superlargura
Fonte: Próprio Autor (2019).

- Comprimento de transição

Entre a tangente da via e a circunferência da curva circular se utiliza a curva de transição, evitando a aplicação brusca do veículo na curva, oferecendo gradualmente em seu comprimento o esforço da aceleração centrífuga e a aplicação superelevação (PAIVA, 2016). Como pode ser vista na Figura 4.

Segundo Carvalho (1973), é sugerido o emprego de 120 m para o comprimento de transição a partir do uso de raio circular de 1.100 m. Já para Nabais (2014) as curvas de raio abaixo de 1.800 m necessitam da transição.

De acordo com Paiva (2016), se houver curvas transição, o comprimento da rampa reta da superelevação do trilho exposto na equação 23 do Anexo F é de mesmo valor ao comprimento de transição.

Segundo Brina (1988), a curva em clotóide é o tipo de curva de transição mais empregada, tendo sua extensão delimitada sobre a própria curva. Para determinar o seu comprimento é citado dois métodos usuais, o método de aceleração da aceleração exposto na equação 24 e o método da velocidade da superelevação exposto na equação 25. O comprimento mínimo utilizado é usualmente o tamanho de duas estacas, ou seja, 40 metros. Outro quesito apontado pelo autor é a análise do comprimento máximo de transição, a equação 26.

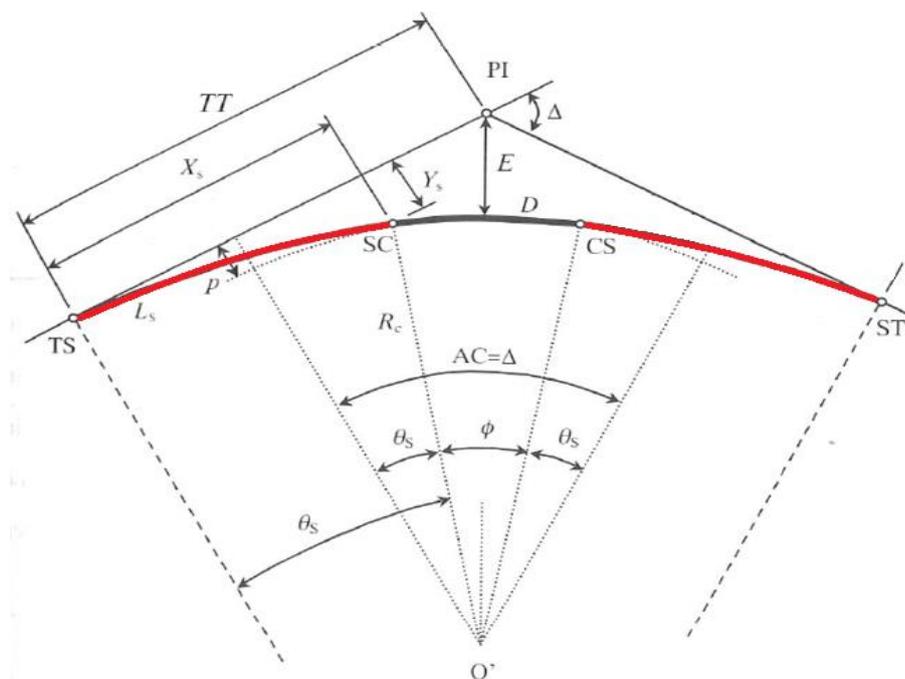


Figura 4 – Comprimento de transição
Fonte: Adaptado de Pontes Filho (1998).

- Curva de concordância vertical

Segundo Brina (1988), utiliza-se geralmente a parábola de 2º grau nas curvas verticais, pois garantem a requisição variável de declividade constante. Nabais (2014), cita que não é necessário o uso de curva de concordância quando o resultado da diferença algébrica das rampas usadas for menor que 0,2 %.

Se a variação da inclinação for menor que zero a concordância é convexa e se for maior que zero é côncava. A declividade da variação total é exposta na equação 27 do Anexo G (BRINA, 1988). Esta representação é feita na Figura 5.

Pereira (1958), apresenta rampas máximas para ferrovias de troncos principais em terrenos planos como 0,7 e 0,6 %, em terrenos ondulados se usa 1 % e 0,9 % e em terrenos montanhosos de 1,5 % e 1,3 % para bitolas métrica e larga nos 3 terrenos respectivamente.

Segundo o DNIT (2015), o critério usado para encontrar a rampa máxima compensada considerando o efeito da curva é exposta na equação 28. O comprimento mínimo para a curva vertical está exposto na equação 29.

De acordo com Brina (1988), o comprimento da parábola é exposto pela equação 30, utilizando como variação de declividade para curva convexa o valor de 0,1 % e para curva côncava o valor de 0,05 %.

Segundo Paiva (2016), o comprimento da curva vertical é exposto na equação 31 e para o raio vertical tem-se as equações 32 e 33.

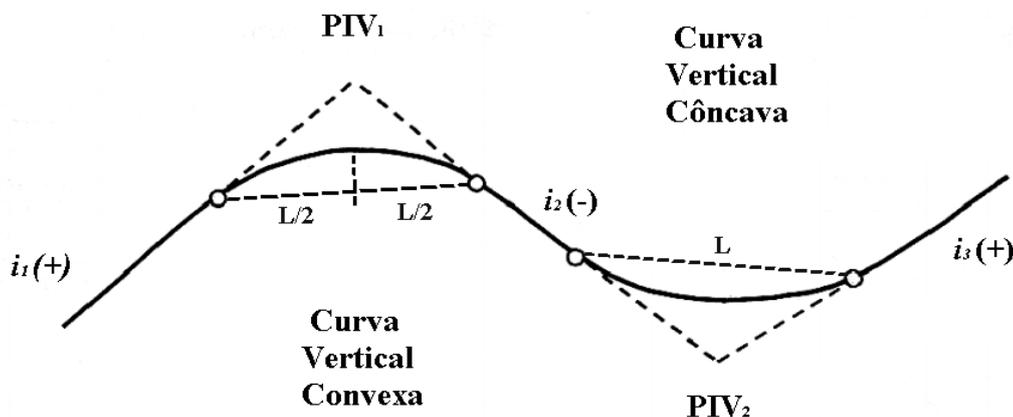


Figura 5 – Curvas verticais convexa e côncava
Fonte: Próprio Autor (2019).

- Largura de plataforma

Para o cálculo dos componentes desenvolvidos na seção transversal, como trilhos, dormentes, lastro e sublastro, tem suas dimensões, características e definições dependentes de parâmetros resistivos dos seus próprios materiais, em relação as solicitações dos trens e suas cargas em operação, assim também, como outros componentes que dependem de

diversas variáveis, como o sistema de drenagem por exemplo (SANTA RITA, 2015). A representação da seção transversal é realizada na Figura 6.

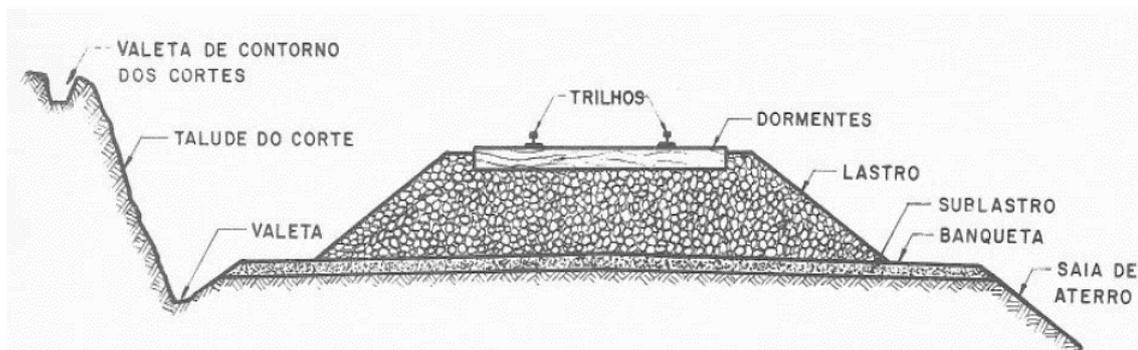


Figura 6 – Seção transversal
Fonte: Brina (1988).

Segundo o DNEF (1969), a norma brasileira para ferrovias estabelece para vias singelas em tangente, as larguras de plataforma apresentadas por tipo de linha na Tabela 2.

Tabela 2 – Largura de plataforma ferroviária

LARGURA DE PLATAFORMA PARA LINHAS SIMPLES				
LINHA SIMPLES	BITOLADE 1,60 E 1,435 (m)		BITOLA DE 1,00 (m)	
	ATERRO	CORTE	ATERRO	CORTE
TRONCO	6,1-5,8	7,2-6,9	4,9-4,6	6,0-5,7
SUBSIDIÁRIA	5,6-5,4	6,7-6,5	4,6-4,4	5,7-5,5

Fonte: DNEF (1969).

3. Resultados e discussão

3.1. Análise técnica da geometria da via

Devido à dificuldade mostrada para a obtenção dos resultados das equações necessitarem umas das outras, foi adotado inicialmente o valor de 350 m de raio mínimo, para a bitola métrica baseando-se na norma da ABNT NBR 11522 (1988a) e 500 m de raio mínimo para a bitola larga baseando-se na norma da ABNT NBR 11523 (1988b).

Foram desenvolvidas as Tabelas 3 e 4 que apresentam os valores adotados das análises realizadas nos Apêndices A, B, C, D, e E obtidas das características geométricas já citadas e aplicadas, ao conjunto de equações apresentadas, demonstrando os resultados mais críticos da implantação geométrica da bitola larga, junto a um traçado proveniente da bitola métrica e a implantação da geometria da bitola métrica, junto a um traçado priorizando a bitola larga respectivamente.

Nos resultados das fórmulas dos autores para a velocidade nas Tabelas 3 e 4 foram adotadas como velocidade máxima para as bitolas o menor valor, pois atende as demais, foram alcançadas pelas equações 7 e 8 de Nabais (2014), sendo que os maiores valores para bitola métrica foram obtidos pelo item 5 de Paiva (2016), e na larga pelo item 6 do Brina (1988).

Tabela 3 – Análise da implantação da bitola larga no traçado geométrico de bitola métrica

Raio mínimo adotado para bitola métrica (m)		350	
Parâmetros	Equação	Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga
Velocidade adotada (km/h)	7	-	65,29192
	8	64,73067	-
Superelevação adotada (cm)	17	5,13230	-
	18	-	4,96815
Superlargura adotada (cm)	19	-	1,56482
	22	1,21429	-
Comprimento de transição adotado (m)	24	83,04843	56,81763
Rampa máxima compensada (%)	28	1,37666	1,37706
Comprimento de curva vertical adotado (m)	29	145,94974	148,53356
Raio vertical adotado (m)	32	10601,72881	10786,28775

Fonte: Próprio Autor (2019).

Tabela 4 – Análise da implantação da bitola métrica no traçado geométrico de bitola larga

Raio mínimo adotado para bitola larga (m)		500	
Parâmetros	Equação	Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga
Velocidade adotada (km/h)	7	-	78,03877
	8	77,36795	-
Superelevação adotada (cm)	17	5,13221	-
	18	-	4,96820
Superlargura adotada (cm)	19	-	0,92593
	22	0,70000	-
Comprimento de transição adotado (m)	24	99,26053	67,91041
Rampa máxima compensada (%)	28	1,18366	1,18394
Comprimento de curva vertical adotado (m)	29	179,26786	182,43397
Raio vertical adotado (m)	32	15145,19254	15409,03529

Fonte: Próprio Autor (2019).

Na Tabela 3 se prioriza a bitola métrica, a velocidade da bitola larga foi reduzida para quase o mesmo valor da métrica, tendo uma diminuição expressiva em seu desempenho, pois

segundo Cury (2011), admite maiores velocidades que a métrica. Já na Tabela 4 que prioriza a larga, a bitola métrica alcançou um melhor desempenho devido a maior velocidade resultante do uso de um maior raio.

No item de superelevação os maiores valores para bitola métrica foram encontrados por Brina (1988), na equação 12 que busca conter a resultante das forças atuantes no terço médio central da bitola, porém segundo Nabais (2014), para as ferrovias de carga é necessário somente as especificações de segurança, então foi adotado consequentemente as superelevações mínimas através das equações 17 e 18 de Paiva (2016), para as bitolas, pois a de critério de segurança resultou em menor valor do que o mínimo.

Na Tabela 3 tal como na 4 se pode ver que a superelevação adotada na bitola larga foi menor que a da métrica e foi maior do que o critério de segurança no caso da larga na Tabela 3, o que resultaria em melhor estabilidade, já na Tabela 4 onde deve-se obedecer a larga, o valor adotado resulta em um valor desatendido pela segurança para bitola métrica, facilitando ocorrer o descarrilamento do trem, mas o valores adotados estão abaixo dos máximos, o que diminui o risco de tombamento.

Para a superlargura vista na Tabela 3 que prioriza à bitola métrica, os resultados necessários foram maiores, pois é influenciada pelo raio. As duas tabelas demonstraram que a bitola larga necessita de uma maior superlargura, adotando para a métrica o valor provindo da equação 22 de Brina (1988), e para larga através do item 19 do Carvalho (1973), este valor se não executado na construção da via causaria segundo Brina (1988), o aumento do desgaste do trilho e da roda, porém a superlargura se aplica deslocando o trilho interno gradualmente, ou seja, se poderia executar a via de bitola mista aplicando diferentes superlarguras para as bitolas, resultando em um difícil processo prático de implantação, porém possível.

No comprimento de transição foi observado nas duas tabelas que a bitola larga necessita de um menor comprimento, os valores adotados foram os maiores encontrados, obtidas pela equação 24 do Paiva (2016), enquanto a equação 23 de Brina (1988), resulta em valores menores.

Segundo a análise da Tabela 3 a bitola métrica teria um maior comprimento de transição, suavizando a inserção do veículo de bitola larga na curva, já na Tabela 4 a bitola métrica teria um valor menor do que necessita, resultando em maiores desgastes e risco de descarrilamento da composição.

Para a declividade da variação total foi analisado o terreno plano disponibilizado por Pereira (1958), usados na equação 27 do Brina (1988), e corrigidas na equação 28 do DNIT (2015), foi mostrado na Tabela 3 que a bitola métrica permite maior inclinação, em que a bitola larga perderia desempenho, pois a locomotiva teria um elevado consumo de combustível,

menor a capacidade de carga e maiores desgastes das vias e do trem. Já a Tabela 4 mostra que a larga necessita de menor inclinação, favorecendo a métrica em um escoamento mais suave e com melhor desempenho.

No item do comprimento mínimo da parábola da curva vertical foi observada uma variação de resultados entre as equações 29 do DNIT (2015), 30 do Brina (1988), para curvas côncavas e convexas e 31 do Paiva (2016), pois foi visto que as variáveis necessitam uma das outras, aplicando o resultado da equação 33 do Paiva (2016), do raio mínimo vertical pela velocidade na equação 31 de Paiva (2016), resultou no menor valor, então foi adotado o valor da equação 29 do DNIT (2015), para cálculo do raio mínimo, pois foi maior e mostrou variações entre as bitolas, o que não ocorre nos resultados da equação 30 de Brina (1988), que resulta em valores iguais, diferenciando somente por tipo de curva, em que o foco é somente a variação dos valores entre as bitolas, quanto maior for o comprimento mínimo maior é o raio.

Através do comprimento da curva vertical foi encontrado os raios verticais pela equação 32 do Paiva (2016), utilizando somente fórmulas deste autor, foi observado pelas Tabela 3 e 4 que a bitola larga precisa de maior raio, o que não é atendido na Tabela 3 devido sua priorização ser a métrica, gerando menor desempenho no seu uso. Já na Tabela 4 a bitola métrica usufruiria do raio de maior dimensão da bitola larga, acarretando em melhor desempenho.

Para a seção transversal foi buscado somente as larguras de plataforma, pois os seus componentes passam por análises geotécnicas e estruturais, o que não é o foco do trabalho. A Tabela 2 mostra que a implantação da bitola métrica em via larga é favorecida, pois a largura da plataforma da bitola larga é superior, já para implantação da larga em via métrica é dificultada, pois deveria passar por um processo de alargamento.

3.2. Análise dos gabaritos ferroviários

A partir do gabarito de túnel e gabarito de ponte, em via singela de bitola métrica da ABNT NBR 11522 (1988a), e gabarito estático de bitola larga da ABNT NBR 12915 (2009), foram analisados a inclusão do gabarito estático da larga nos de túnel e de ponte da métrica, sendo esta a integração mais desfavorável.

No gabarito de túnel o trem consegue circular sem ter a redução da velocidade exigida pela ABNT NBR 12915 (2009) como visto na Figura 7, porém este caso especial não atenderia as recomendações da ABNT NBR 11523 (1988b). Já no gabarito de ponte é ultrapassado o limite em 0,0028 m nos cantos inferiores, como mostrado na Figura 8, além de que seria necessária uma distância superior a 60 mm da zona de limitação de velocidade entre os

gabaritos para ocorrer a circulação limitada a 10 km/h demonstrada no Anexo K segundo a ABNT NBR 12915.



Figura 7 – Inserção do gabarito estático de bitola larga no gabarito de túnel de bitola métrica, com dimensões em metros

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 11522 (1988a) e ABNT NBR 12915 (2009).

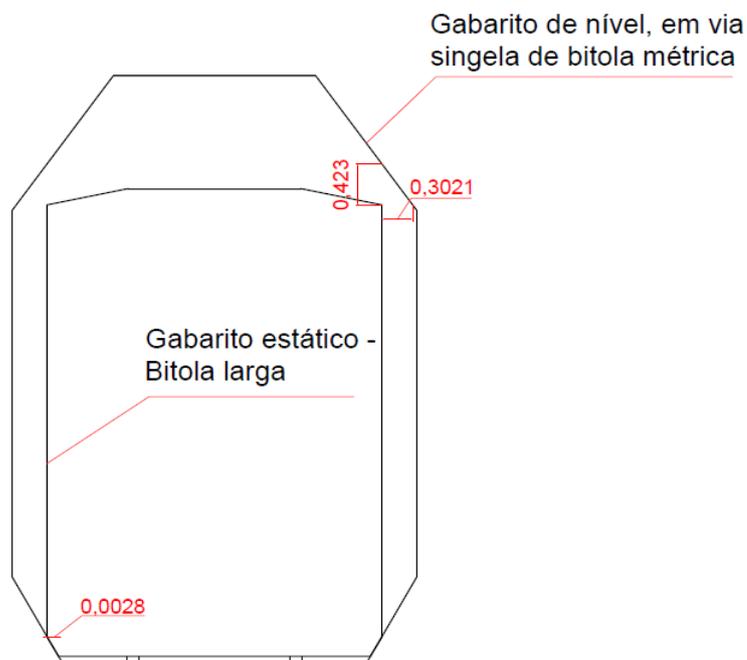


Figura 8 – Inserção do gabarito estático de bitola larga no gabarito de nível de bitola métrica, com dimensões em metros

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 11522 (1988a) e ABNT NBR 12915 (2009).

4. Conclusões

Este trabalho buscou resultados pesquisados através do conjunto de fórmulas fornecidas pelos diversos autores, analisando os valores mais críticos nas implantações das bitolas, para contribuir com construções de ferrovias futuras e as que passarão por manutenções buscando atender as bitolas mais usuais no Brasil, por meio da bitola mista.

Conclui-se que para ocorrer a implantação da bitola larga em traçado métrico seria necessário a alteração do gabarito, além de apresentar diversos empecilhos que diminuem drasticamente seu desempenho e a geração de maiores desgastes, limitando a vida útil da via e do trem e a frequência de manutenções.

Já na implantação da bitola métrica no traçado geométrico priorizando a larga, foi observado melhores oportunidades de realização, visto que se tem melhores desempenhos, além de um gabarito e estrutura superdimensionada, pois a bitola larga admite maiores cargas. Porém foi encontrado também empecilhos devido a maior velocidade proporcionada pelo uso de maior raio mínimo da bitola larga, acarretando no aumento dos outros parâmetros.

Então deve-se procurar planejar as novas construções para atender à espera de outras bitolas, como no caso da Ferrovia Norte-Sul, que vem para ser a espinha dorsal da malha ferroviária brasileira e que não recebe esta espera em diversos trechos, deixando de integrar ferrovias próximas, o que deveria ser a sua principal função.

Referências

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11522 – Gabarito de construção de instalação fixa ferroviária – Bitola métrica em tangente ou em curva com raio de mais de 350 metros – Formas e dimensões.** Rio de Janeiro, 1988a. 3 p.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11523 – Gabarito de construção de instalação fixa ferroviária – Bitola normal e larga em tangente ou em curva com raio de mais de 500 metros – Formas e dimensões.** Rio de Janeiro, 1988b. 4 p.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12915 - Via férrea – Entrelaço e gabarito ferroviário – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

ARAÚJO, D. Bitola métrica ou larga: um estudo do ponto de vista econômico das ferrovias. **Centro-Oeste Brasil**, São Paulo, Abril-Maio 1986. Disponível em: <<http://vfco.brazilia.jor.br/ferrovias/bitolas/CO-15-bitola-Metrica-Larga-estudo-economia-1.shtml>>. Acesso em: 14 Ago. 2018.

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1988. vol. 1. 258 p.

CARVALHO, M. P. **Curso de estradas**: estudos, projetos e locação de ferrovias e rodovias. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1973. v. 1. 510 p.

CNT: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. Tabela 2.3.1.1. Extensão das linhas principais e ramais por concessionária segundo a bitola - 2017. **Anuário CNT do transporte 2018**, Brasil, 2018. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/File/Fer/FER_2_3_1_1.XLSX>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CURY, M. V. Q. **Escolha entre bitola larga brasileira e a bitola internacional padrão para a linha 4 do metrô do Rio de Janeiro**. Nota Técnica. Rio de Janeiro. 2011.

CURY, M. V. Q. Mais Promessas para as ferrovias. **Associação Brasileira da Indústria Ferroviária - ABIFER**, 2007. Disponível em: <<https://abifer.org.br/mais-promessas-para-as-ferrovias-por-marcus-quintella/>>. Acesso em: 02 set. 2018.

DNEF: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE FERRO. **Normas Técnicas para Estradas de Ferro Brasileiras**. Brasil, 1969.

DNIT: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Glossário dos Termos Ferroviários**. Rio de Janeiro: DNIT, 2016, 70 p.

DNIT: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **ISF-209 - Projeto geométrico**. Instrução de Serviço Ferroviário. Rio de Janeiro: DNIT, 2015. 17 p.

FERREIRA, M. A. **Tipos de modais**. IETEC, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/670&>. Acesso em: 15 out. 2018.

FERREIRA, R. M. B. **Interoperabilidade ferroviária**: infraestrutura (Bitola). 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.

FILOMENO, P. R. Unificação de bitolas ferroviárias no Brasil: sonho ou mera possibilidade?. **Portogente**, 2008. Disponível em: <<https://portogente.com.br/noticias/transporte-logistica/20465-unificacao-de-bitolas-ferrovias-no-brasil-sonho-ou-mera-possibilidade>>. Acesso em: 17 out. 2018.

LANG, A. E. **As ferrovias no Brasil e avaliação econômica de projetos:** Uma Aplicação em Projetos Ferroviários. 2007. 154 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

NABAIS, R. J. S. (org.). **Manual básico de engenharia ferroviária.** 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 360 p.

PAIVA, C. E. L. **Super e infraestruturas de ferrovias:** critérios para projetos. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 312 p.

PAZ, I. B. F.; OLIVEIRA, F. H. L. Análise dos métodos de cálculo de superelevação ferroviária em transporte de cargas. In: XXIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 2015, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANPET, 2015. v. 1, p. 343-354.

PEREIRA, A. L. **Estradas – Rodovias e Ferrovias:** Projeto e Construção. Rio de Janeiro: Livro Técnico Ltda, 1958. 594 p.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem:** projeto geométrico. São Carlos: USP, 1998. 432 p.

PORTO, T. G. **PTR 2501 - Ferrovias.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. 81 p. Notas de aula.

RIBEIRO, R. L. P. **Análise automática de normas aplicada em projeto geométrico de superestrutura ferroviária.** 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SANTA RITA, L. C. S. **Projeto geométrico de rodovias e ferrovias:** especificidades (ou diferenças) do projeto geométrico das ferrovias em comparação com o projeto geométrico das rodovias. 2015. 21 f. Monografia (Avaliação da disciplina Estradas e ferrovias 1 da Graduação em Engenharia civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

STEFFLER, F. **Via permanente aplicada:** guia teórico e prático. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 326 p.



VILAÇA, R. Infra-estrutura e logística no Brasil: Transporte ferroviário de carga. In: 1º SIMPÓSIO INFRA-ESTRUTURA E LOGÍSTICA NO BRASIL: DESAFIOS PARA UM PAÍS EMERGENTE, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Senado Federal, 2008. p. 51.

APÊNDICE A – Análise das velocidades da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Tabela 5 – Análise das velocidades da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Raio mínimo adotado (m)		Raio para bitola métrica		Raio para bitola larga	
		350		500	
Parâmetros	Equação	Aplicação das equações		Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga	Bitola métrica	Bitola larga
Velocidade máxima (km/h)	5	82,316	82,316	98,387	98,387
	6	78,575	89,8	93,915	107,331
	7	-	65,292	-	78,039
	8	64,731	-	77,368	-
Velocidade Mínima (km/h)	9	46,958	45,274	56,125	54,113
Velocidade adotada (km/h)	7	-	65,292	-	78,039
	8	64,731	-	77,368	-

Fonte: Próprio Autor (2019).

APÊNDICE B – Análise das superelevações da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Tabela 6 - Análise das superelevações da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Parâmetros	Equação	Aplicação das equações		Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga	Bitola métrica	Bitola larga
Superelevação teórica (cm)	10	10,08641	16,01639	10,086321	16,016445
Superelevação prática (cm)	11	5,12426	4,85775	5,12417	4,85781
	12	5,52351	2,35275	5,52342	2,35281
Superelevação máxima (cm)	13	12,5	20	12,5	20
	14	10	16	10	16
	15	12,40538	18,59773	12,40538	18,59773
	16	16,31118	25,45764	16,31118	25,45764
Superelevação mínima (cm)	17	5,132302	-	5,1322132	-
	18	-	4,968149	-	4,9682042
Superelevação adotada (cm)	17	5,132302	-	5,1322132	-
	18	-	4,968149	-	4,9682042

Fonte: Próprio Autor (2019).

APÊNDICE C – Análise das superlarguras da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Tabela 7 - Análise das superlarguras da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Parâmetros	Equação	Aplicação das equações		Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga	Bitola métrica	Bitola larga
Superlargura (cm)	19	-	1,564815	-	0,92593
	20	1,17361	-	0,69444	-
	21	0,514286	0,514286	0	0
	22	1,214286	1,214286	0,7	0,7
Superlargura adotada (cm)	19	-	1,564815	-	0,92593
	22	1,214286	-	0,7	-

Fonte: Próprio Autor (2019).

APÊNDICE D – Análise dos comprimentos de transição da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Tabela 8 - Análise dos comprimentos de transição da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Parâmetros	Equação	Aplicação das equações		Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga	Bitola métrica	Bitola larga
Comprimento de transição (m)	23	53,15215	25,95043	63,531051	31,017095
	24	83,04843	56,81763	99,2605343	67,910406
	25	46,13902	28,15833	55,148482	33,655702
Comprimento de transição máximo (m)	26	234,88936	234,88936	352,69908	352,69908
Comprimento de transição adotado (m)	24	83,04843	56,81763	99,2605343	67,910406

Fonte: Próprio Autor (2019).

APÊNDICE E – Análise da curva vertical da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Tabela 9 - Análise da curva vertical da implantação das bitolas nos traçados geométricos opostos

Parâmetros	Equação	Aplicação das equações		Aplicação das equações	
		Bitola métrica	Bitola larga	Bitola métrica	Bitola larga
Declividade da variação total em terreno plano (%)	27	1,4	1,4	1,2	1,2
Rampa máxima compensada (%)	28	1,376659787	1,377059157	1,183661779	1,183941534
Comprimento mínimo de curva vertical (m)	29	145,94974	148,53356	179,26786	182,43397
	31	28,84173	29,35233	35,425857	36,051526
Comprimento mínimo de curva vertical côncava (m)	30	275,33196	275,41183	236,7323558	236,7883068
Comprimento mínimo de curva vertical convexa (m)	30	550,66391	550,82366	473,4647116	473,5766136
Comprimento de curva vertical adotado (m)	29	145,9497372	148,5335632	179,26786	182,43397
Raio vertical mínimo (m)	32	2095,05118	2131,52263	2992,90371	3045,04276
	32	10601,72881	10786,28775	15145,19254	15409,03529
	33	2095,05118	2131,52263	2992,90371	3045,04276
Raio vertical mínimo côncavo (m)	32	20000	20000	20000	20000
Raio vertical mínimo convexo (m)	32	40000	40000	40000	40000
Raio vertical adotado (m)	32	10601,72881	10786,28775	15145,19254	15409,03529

Fonte: Próprio Autor (2019).

ANEXO A – Dados do veículo ferroviário U20C com alterações propostas

Quadro 1 – Dados do veículo ferroviário U20C com alterações propostas

Características	Item	Unidades	Valores
Velocidade máxima	(a)	km/h	103
Velocidade mínima contínua	(b)	km/h	19
Raio mínimo de curva	(c)	m	56,7
Diâmetro da roda medido até o friso	(d)	m	0,914
Raio da roda no plano de rolamento	(e)	m	0,4445
Jogo da via	(f)	m	0,042
Altura do friso	(g)	m	0,025
Espessura do friso	(h)	m	0,03
Truque de três eixos (1º ao 2º)	(i)	m	1,594
Truque de três eixos (2º ao 3º)	(j)	m	1,911
Base Rígida do veículo	(k)	m	3,505
Deslocamento do centro de gravidade	(l)	m	0,1
Altura do centro de gravidade (bitola métrica)	(m)	m	1,876
Altura do centro de gravidade (bitola larga)	(n)	m	2,2
Altura (bitola métrica)	(o)	m	4,85
Altura (bitola larga)	(p)	m	4,85
Largura (bitola métrica)	(q)	m	3,25
Largura (bitola larga)	(r)	m	3,31
Comprimento (bitola métrica)	(s)	m	24
Comprimento (bitola larga)	(t)	m	27,93
Distância entre pinos do pião (bitola métrica)	(u)	m	15
Distância entre pinos do pião (bitola larga)	(v)	m	21
Peso total de carga (bitola métrica)	(w)	t	90
Peso total de carga (bitola larga)	(x)	t	119
Distância de centro a centro de trilho (bitola métrica)	(y)	m	1,07
Distância de centro a centro de trilho (bitola larga)	(z)	m	1,67

Fonte: Ribeiro (2018), itens de (a) à (l); Paz e Oliveira (2015), itens (m) e (n); ABNT (2009), itens de (o) à (v); Brina (1988), itens (w), (x), (y) e (z).

ANEXO B – Equações para o cálculo dos raios mínimos

Quadro 2 – Equações para o cálculo dos raios mínimos

Equações	Variáveis	Item
$R_{min} \text{ (Inscrição Livre)} = \frac{p^2 - 2 \times p \times \sqrt{D \times m}}{2 \times (S + j)}$	<p>p= base rígida do veículo (m); D= diâmetro da roda (m); m= altura do friso (m); S= superlargura (m); j= jogo da via (m).</p>	(1)
$R_{min} \text{ (Escorregamento)} = \frac{20 \times r \times b}{j + S}$	<p>r= raio da roda (m); b= bitola (m); j= jogo da via na reta dado (m); S= superlargura (m).</p>	(2)
$R_{min} \text{ (Vel. máx)} = \frac{7,865 \times V^2 \times B}{(1000 \times h_{max}) + \left(B \times \frac{\gamma_{max}}{9,81} \right)}$	<p>V= velocidade (km/h); B= distância de centro a centro dos trilhos (m); H_{max}= superelevação máxima (m); γ_{max}= aceleração centrífuga não-equilibrada (m/s²), 0,55 e 0,65 para métrica e larga.</p>	(3)
$R_{min} = \left(\frac{V_{máx}}{K} \right)^2$	<p>V_{máx}= velocidade constante máxima; K (constante)= 4,4.</p>	(4)

Fonte: Brina (1988), itens (1), (2) e (3); Paiva (2016), item (4).

ANEXO C – Equações para o cálculo das velocidades

Quadro 3 – Equações para o cálculo das velocidades

Equações	Variáveis	Item
$V_{m\acute{a}x} = k \times \sqrt{R_{min}}$	K= (constante) = 4,4 para bitola métrica e 4,6 para bitola larga; Rmin= Raio mínimo.	(5)
$V_{m\acute{a}x} = \sqrt{127 \times \left(\frac{hp}{B} + \frac{\frac{B}{2} - d}{H \times n} \right)} \times \sqrt{R}$	Vmáx= velocidade máxima (km/h); hp= superelevação adotada (m); B= distância de centro a centro dos trilhos (m); d= deslocamento do centro de gravidade adotado como 0,10(m); R= raio da curva (m); H= altura do centro de gravidade (m); n= coeficiente de segurança adotado como 5.	(6)
$V_{lim} = 3,49 \times \sqrt{R}$	R= raio da curva (m).	(7)
$V_{lim} = 3,46 \times \sqrt{R}$	R= raio da curva (m).	(8)
$V_{min} = \sqrt{127 \left(\frac{hp}{B} - \frac{\frac{S}{2} - d}{(H+hp) \times n} \right)} \times \sqrt{R}$	Vmáx= velocidade máxima (km/h); hp= superelevação adotada (m); H= altura do centro de gravidade (m); S= superlargura (m); d= deslocamento do centro de gravidade adotado como 0,10 (m); R= raio da curva (m); n= coeficiente de segurança adotado como 5.	(9)

Fonte: Paiva (2016), item (5); Brina (1988), itens (6) e (9); Nabais (2014), itens (7) e (8).

ANEXO D – Equações para o cálculo das superelevações

Quadro 4 – Equações para o cálculo das superelevações

Equações	Variáveis	Item
$h_t = \frac{B \times V^2}{127 \times R}$	B= distância de centro a centro dos trilhos (m); V= velocidade (km/h); R= raio da curva (m).	(10)
$h_p = h_t - \left(\frac{B}{H \times n} \right) \times \left(\frac{B}{2} - d \right)$	B= distância de centro a centro dos trilhos (m); H= altura do centro de gravidade (m); n= coeficiente de segurança adotado como 5; d = deslocamento do centro de gravidade adotado como 0,10 (m).	(11)
$h_p = h_t - B \times \left(\frac{x-d}{H} \right)$	ht= superelevação teórica; B= distância de centro a centro dos trilhos (m); x= excentricidade, 0,18 e 0,28 para métrica e larga; d= deslocamento do centro de gravidade adotado como 0,10 (m); H= altura do centro de gravidade (m).	(12)
$h_{m\acute{a}x} = b \times 0,125$	b= bitola ferroviária (m).	(13)
$h_{m\acute{a}x} = b \times 0,100$	b= bitola ferroviária (m).	(14)
$h_{m\acute{a}x} = \frac{B}{H \times n} \times \left(\frac{B}{2} - d \right)$	B= distância de centro a centro dos trilhos (m); H= altura do centro de gravidade (m); n= coeficiente de segurança, sendo 2 para métrica e 3 para larga; d= deslocamento do centro de gravidade adotado como 0,10 (m).	(15)
$h_{m\acute{a}x} = \frac{B}{H} \times (x_p - d)$	B= distância de centro a centro dos trilhos (m); H= altura do centro de gravidade do veículo em relação aos trilhos (m); xp= excentricidade para superelevação máxima; d= deslocamento do centro de gravidade adotado como 0,10 (m).	(16)
$h_{m\acute{i}n} = \frac{8,38 \times V^2}{R} - 49$	V= velocidade (km/h); R= raio da curva (m).	(17)
$h_{m\acute{i}n} = \frac{13,11 \times V^2}{R} - 110$	V= velocidade (km/h); R= raio da curva (m).	(18)

Fonte: Brina (1988), itens (10), (11), (12), (13), (15) e (16); Nabais (2014), item (17); Paiva (2016), itens (14), (17) e (18).

ANEXO E – Equações para o cálculo das superlarguras

Quadro 5 – Equações para o cálculo das superlarguras

Equações	Variáveis	Item
$SL = \frac{(1000-R)^2}{27000}$	R= Raio da curva (m).	(19)
$SL = \frac{(1000-R^2)}{36000}$	R= Raio da curva (m).	(20)
$S = \frac{6}{R} - 0,012$	R= Raio da curva (m).	(21)
$S = \frac{6000}{R} - 5$	R= Raio da curva (m).	(22)

Fonte: Carvalho (1973), itens (19) e (20); Brina (1988), itens (21) e (22).

ANEXO F – Equações para o cálculo dos comprimentos de transição

Quadro 6 – Equações para o cálculo dos comprimentos de transição

Equações	Variáveis	Item
$L = k \times V \times h$	k (constante)= 16 para bitola métrica e 8 para bitola larga; V= velocidade (km/h); h= superelevação (mm).	(23)
$l_e = \frac{V^3}{3,6^3 \times y_2 \times R}$	V= velocidade (km/h); y ₂ (constante)= 0,2 para métrica e 0,3 para larga; R= raio da curva no ponto (m).	(24)
$l_e = \frac{V \times h_p}{3,6 \times r}$	V= velocidade (km/h); h _p = superelevação teórica (cm); r (constante)= 2 para métrica e 3,2 para larga (cm/s).	(25)
$l_{\text{emax}} = D - 40$	D= comprimento da curva circular primitiva.	(26)

Fonte: Paiva (2016), item (23); Brina (1988), itens (24), (25) e (26).

ANEXO G – Equações para o cálculo de componentes da curva de concordância

Quadro 7 – Equações para o cálculo de componentes da curva de concordância

Equações	Variáveis	Item
$i=i_1-i_2$	i_1 = primeira inclinação (%); i_2 = segunda inclinação (%).	(27)
$i_c=i-0,08 \times f_b \times \arcsen\left(\frac{15,24}{R}\right)$	i = rampa física no local da curva (%); f_b (constante)= 0,7 para métrica e 1,12 para larga; R = raio da curva horizontal (m).	(28)
$L_{\min}=\frac{D \times V^2 \times K}{A}$	D = valor absoluto da diferença de rampas; V = Velocidade máxima (km/h); K (constante)= 0,07712; A = aceleração vertical para transporte de carga, 0,03048 m/s ² .	(29)
$L=\frac{20 \times i}{\mu}$	i = declividade total (%); μ = variação da declividade por estaca (%).	(30)
$L=R_v \times \Delta i$	R_v = raio vertical (m); Δi = variação da declividade total (%).	(31)
$R_v=\frac{L}{(i_1-i_2)} \times 100$	L = comprimento da curva vertical (m); i_1 = primeira inclinação (%); i_2 = segunda inclinação (%).	(32)
$R_v=\frac{V^2}{2}$	V = Velocidade máxima (km/h).	(33)

Fonte: Brina (1988), itens (27) e (30); DNIT (2015), itens (28) e (29); Paiva (2016), itens (31), (32) e (33).

ANEXO I – ABNT NBR 11522:1988 - Gabarito de construção de instalação fixa ferroviária - Bitola métrica em tangente ou em curva com raio de mais de 350 metros - Formas e dimensões, p. 2.

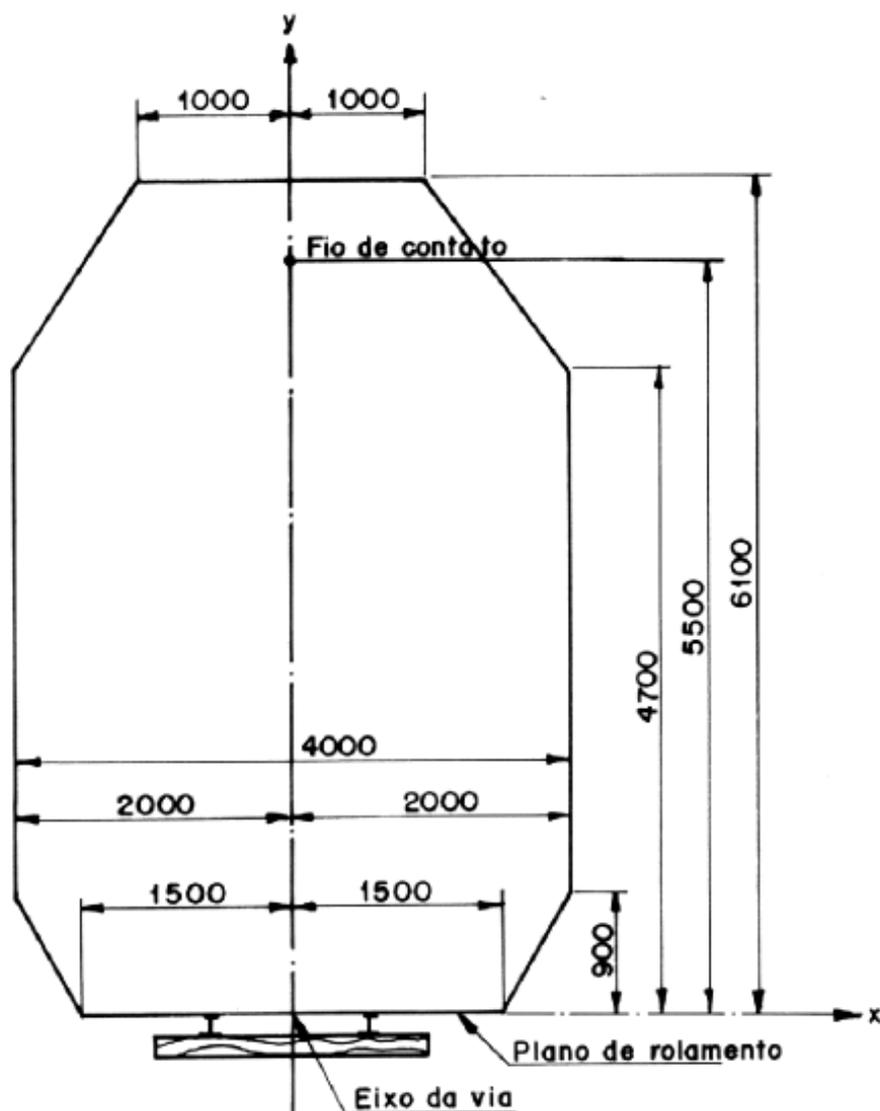


Figura 10 - Gabarito de nível, em via singela de bitola métrica, com dimensões em milímetros
Fonte: ABNT NBR 11522 (1988a).

ANEXO J – ABNT NBR 12915: 2009 - Via férrea - Entrelva e gabarito ferroviário – Requisitos, p. 9.

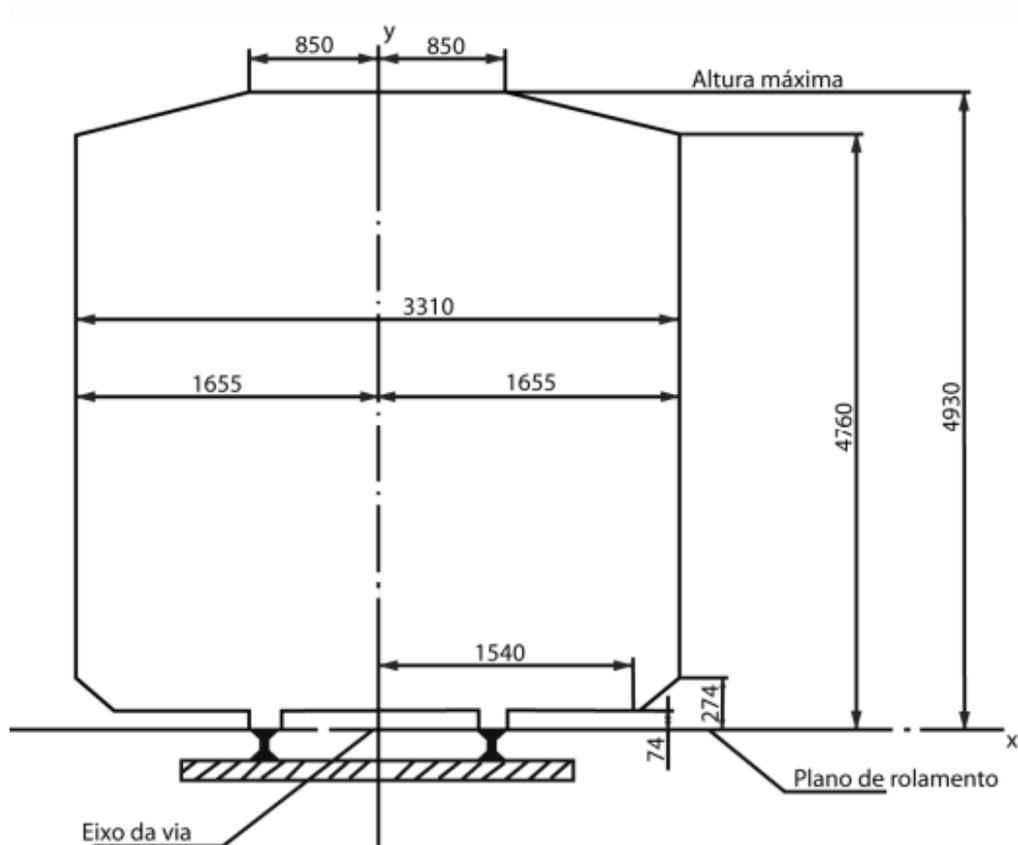


Figura 11 - Gabarito estático- bitola normal e larga, dimensões em milímetros
Fonte: ABNT NBR 12915 (2009).

ANEXO K – ABNT NBR 12915: 2009 - Via férrea - Entrelva e gabarito ferroviário – Requisitos, p. 11.

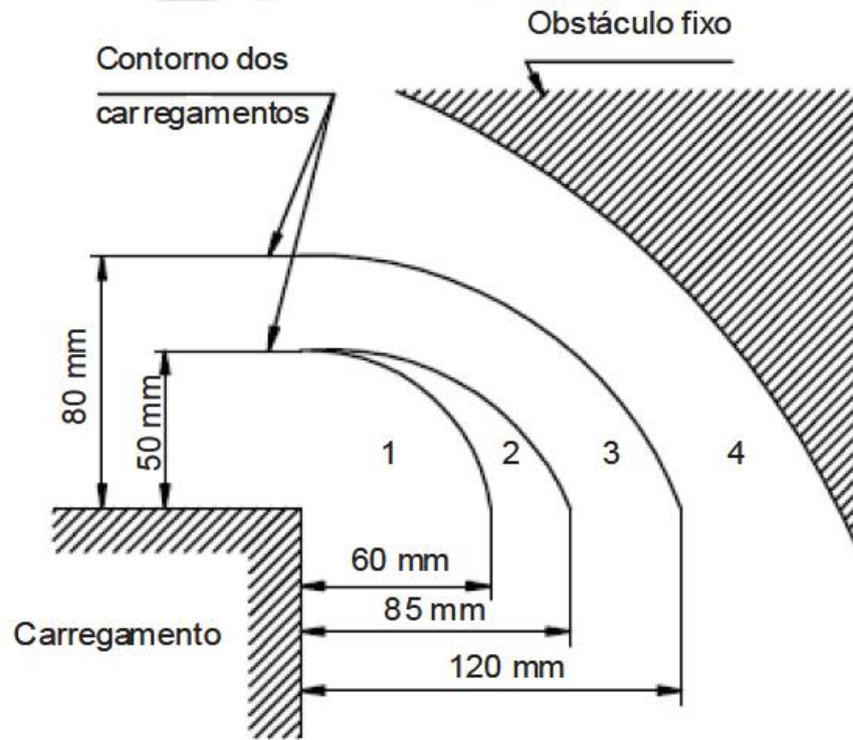


Figura 12 – Zonas para limitação de velocidade
Fonte: ABNT NBR 12915 (2009).

DECLARAÇÃO

Eu, **ISA LEÃO CASTRO**, portadora do CPF - 832.448.911-87 e RG - 3677087/DGPC-GO, Graduada em: Letras, Direito, Pedagogia, Pós-graduada em: Metodologia, Leitura e Produção de Texto, Gestão Pública no Direito e Mestranda em Direito, Relações Internacionais e Desenvolvimento, declaro para os fins que se fizerem necessários, que realizei a correção de **Língua Portuguesa** (pontuação, ortografia, concordância nominal e verbal), observando elementos pré-textuais, textuais e pós-textuais do **Artigo Científico** com o título: **ANÁLISE TÉCNICA VISANDO A INTEGRAÇÃO DAS FERROVIAS DE CARGA NO TERRITÓRIO NACIONAL** apresentado pelos alunos: **GUSTAVO SANTOS RODRIGUES VIEIRA** e **RENATO EDUARDO MARQUES FIUMARI**.

Por ser verdade, firmo esta em duas vias de igual teor.

Rio Verde, 18 de JUNHO de 2019.



Profª Espª Isa Leão Castro
Reg Especialista Nº 108
Reg Letras Nº 2513