



**MATHEUS AUGUSTO ALMEIDA SOUSA**

**ESTUDO DE CASO DO ENTRONCAMENTO ENTRE AS RODOVIAS AMG-0415 E  
MGC-383 (km 101,2): ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE PROJETO**

**LAVRAS – MG**

**2019**

**MATHEUS AUGUSTO ALMEIDA SOUSA**

**ESTUDO DE CASO DO ENTRONCAMENTO ENTRE AS RODOVIAS AMG-0415 E  
MGC-383 (km 101,2): ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE PROJETO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Professor Ms. Keoma Defáveri do Carmo e Silva

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

Sousa, Matheus Augusto Almeida.

Estudo de caso do entroncamento entre as rodovias AMG-0415 e MGC-383 (km 101,2): Análise dos elementos de projeto / Matheus Augusto Almeida Sousa. - 2019.

63 p.: il.

Orientador(a): Keoma Defáveri do Carmo e Silva.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Engenharia Civil. 2. Rodovias. 3. Projeto Geométrico. I. Silva, Keoma Defáveri do Carmo e. II. Título.

**MATHEUS AUGUSTO ALMEIDA SOUSA**

**ESTUDO DE CASO DO ENTRONCAMENTO ENTRE AS RODOVIAS AMG-0415 E  
MGC-383 (km 101,2): ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE PROJETO**

**CASE STUDY BETWEEN THE JUNCTION OF AMG-0415 AND MGC-383 ROADS  
(km 101,2): ANALYSIS OF DESIGN ELEMENTS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 13 de novembro de 2019.

Prof. Ms. Alan Pereira Vilela, UFLA

Prof. Ms. Wisner Coimbra de Paula, UFLA

Professor Ms. Keoma Defáveri do Carmo e Silva  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus pela vida que me proporcionou, pelo conhecimento, esforço e saúde para que eu pudesse chegar até essa etapa de minha vida.

À minha mãe, Mercês, que me proporcionou carinho, estabilidade e conforto, além das broncas, para que eu pudesse me concentrar nos estudos.

Ao meu pai, Celso Murilo, que enquanto esteve presente, me apoiou, me ensinou e me apresentou ao mundo da engenharia. Apesar de não estar mais conosco, sei que ele me guiou nessa jornada que se encerra.

Aos meus avós maternos, Maria e Wantuil e paternos, Helena e João que sempre estiveram presentes e contribuíram nessa caminhada.

À minha segunda família, meus amigos de República Algazarra, que me acolheram em Lavras e me acompanharam nessa jornada.

Ao professor Keoma que aceitou me orientar neste trabalho e com maestria e paciência me conduziu à conclusão do mesmo.

Ao meu tutor de estágio, Caio Sabato, que me ensinou a ser um profissional dedicado, inquieto e que busca sempre melhorar.

À professora Andrea Corrêa que me indicou ao estágio, além de estar presente desde o início da graduação, com sua alegria e vontade de ensinar e aprender que cativam qualquer um ao seu redor.

Ao Núcleo de Estudos em Engenharia Civil (NECiv) e ao Núcleo de Estudos em Estradas (NEEstra) que me proporcionaram aprofundar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação e me deram grandes amigos.

Aos meus companheiros do PROERD-FC, PANELA-FC e Xarada que proporcionaram grandes vitórias, tanto no Futsal quanto no Futebol de Campo, além das divertidas resenhas em churrascos e viagens.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, que contribuíram com toda a estrutura e apoio para a graduação e para a realização do presente trabalho.

A todos os professores e amigos que, de alguma forma, contribuíram durante todos os meus anos de UFLA, para que eu me tornasse uma pessoa melhor e buscasse a excelência nos estudos.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

A Rodovia Estadual MGC-383 é uma via de grande importância para a microrregião da cidade de São João del Rei, localizada na mesorregião do Campo das Vertentes, em Minas Gerais. Trata-se de uma região histórica do estado e também possui grande aporte para o agronegócio, portanto, há uma grande circulação de veículos de passeio e de carga na via. É notório que a mesma não atende com segurança e conforto seus usuários, como mostram estudos, sendo vários os pontos críticos nesta rodovia. Um deles é o entroncamento com a AMG-0415, que dá acesso à cidade de Coronel Xavier Chaves. Deste modo, o presente trabalho realizou um estudo de todos os pontos pertinentes à interseção, como faixas de aceleração e frenagem, largura das vias, acostamentos e dispositivos de drenagem, utilizando como auxílio os projetos existentes das duas rodovias, além da realização de levantamentos fotográficos *in loco*. Mostrou-se que há deficiências nos parâmetros de visibilidade da interseção, tornando-a insegura e inadequada para a rodovia.

**Palavras-chave:** Rodovia; Interseção; Entroncamento; Estudo de caso; Critérios de Projeto.

## **ABSTRACT**

The MGC-383 State Highway is a very important road for the microregion of the city of São João del Rei, located in the Campo das Vertentes mesoregion, in Minas Gerais. It is a historical region of the state and also has great contribution to agribusiness, so there is a large circulation of passenger and cargo vehicles on the road. It is notorious that it does not meet its users safely and comfortably, as studies show, and several critical points on this highway. One of them is the junction with AMG-0415, which gives access to the city of Colonel Xavier Chaves. Thus, the present work carried out a study of all points pertinent to the intersection, such as acceleration and braking lanes, road widths, shoulders and drainage devices, using as aid the existing projects of the two highways, as well as photographic surveys. It has been shown that there are deficiencies in the intersection visibility parameters, making it unsafe and unsuitable for the highway.

**Keywords:** Highway; Intersection; Junction; Case study; Design Criteria.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Classificação das Rodovias.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Classificação Funcional .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Classificação Técnica .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Velocidade de projeto .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Velocidade média de percurso .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Níveis de Serviço .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Inclinação máxima e mínima das rampas .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>Distância de visibilidade .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Distância de visibilidade de frenagem.....</b>	<b>21</b>
<b>2.7</b>	<b>Seção Transversal .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Faixas de rolamento.....</b>	<b>26</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Acostamento .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Dispositivos de drenagem.....</b>	<b>28</b>
<b>2.8</b>	<b>Interseções rodoviárias.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Cruzamentos.....</b>	<b>29</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Entroncamentos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Rotatórias.....</b>	<b>31</b>
<b>2.8.4</b>	<b>Canalização do tráfego .....</b>	<b>31</b>
<b>2.8.5</b>	<b>Interferências nas correntes de tráfego.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8.6</b>	<b>Velocidades .....</b>	<b>36</b>
<b>2.8.7</b>	<b>Visibilidade .....</b>	<b>37</b>
<b>2.8.8</b>	<b>Considerações sobre o projeto .....</b>	<b>37</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Classificação da Rodovia, Nível de Serviço, Velocidade de Projeto e Velocidade Média .....</b>	<b>39</b>

3.2	Distância de Visibilidade de Frenagem.....	40
3.3	Pontos de Divergência e Convergência .....	40
3.4	Seção Transversal .....	41
3.5	Levantamento fotográfico <i>in loco</i> .....	41
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42
4.1	Classificação da Rodovia, Velocidade de Projeto e Nível de Serviço .....	42
4.2	Distância de Visibilidade de Frenagem.....	43
4.3	Interseção.....	44
4.3.1	Trechos de Divergência .....	45
4.3.2	Trechos de Convergência .....	47
4.3.3	Seção Transversal .....	49
4.3.4	Levantamento fotográfico <i>in loco</i> .....	50
5.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56
	<b>ANEXO A – Projeto original do Entroncamento</b> .....	58
	<b>ANEXO B – Projeto de levantamento da rodovia existente</b> .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

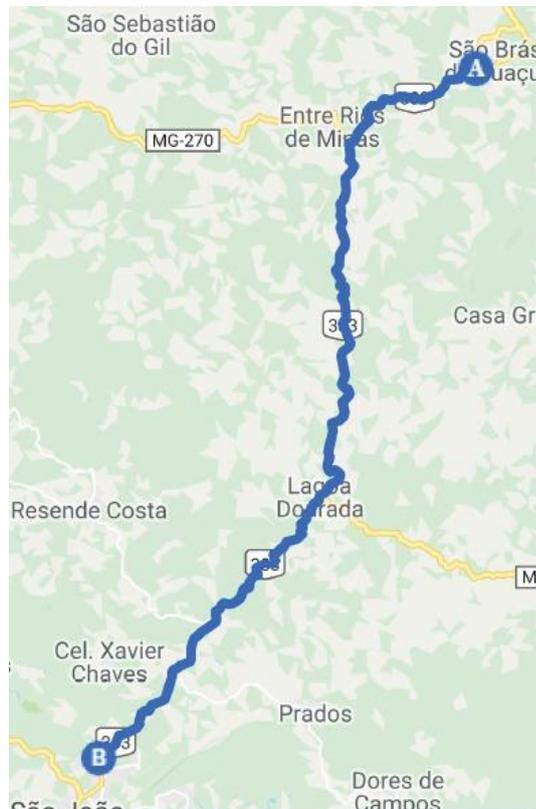
A cidade de Coronel Xavier Chaves está localizada na mesorregião do Campo das Vertentes, no Estado de Minas Gerais. Dista de São João del Rei cerca de 15 quilômetros e a 190 quilômetros de Belo Horizonte (CORONEL XAVIER CHAVES, 2019) e possui uma população de aproximadamente 3301 habitantes (IBGE, 2010). A principal fonte econômica do município é a agropecuária, porém, nos últimos anos a cidade vem demonstrando um grande potencial turístico, com incentivo do artesanato, principalmente em esculturas em pedra-sabão, abrolhos, bem como em trilhas ecológicas, na tradição religiosa e construções históricas.

A cidade é interligada pela rodovia AMG-0415, que é uma rodovia de acesso construída e conservada pelo governo do estado de Minas Gerais. Seu ponto inicial se dá no entroncamento com a MGC-383 (DER-MG, 2011), localizado próximo ao quilômetro 101,20 da via principal (DER-MG, 2014). Esta via de acesso possui relevo ondulado e velocidade diretriz de 60 km/h, sendo classificada no nível D e possui extensão de aproximadamente 5,45 km (DER-MG, 1984). Já a Rodovia Estadual MGC-383, uma via delegada pelo DNIT, sendo construída sobre a diretriz da BR-383, possui extensão total de 543,00 km, totalmente pavimentados. Também possui relevo ondulado, porém sua velocidade diretriz é de 80 km/h e possui classificação no nível C. Seu início se dá em Conselheiro Lafaiete, passando pelas cidades de São João del Rei, Caxambu, Vidinha, Itajubá, sendo todas situadas no estado de Minas Gerais; passando ainda por Campos do Jordão, Pindamonhangaba, terminando em Ubatuba, estas situadas no estado de São Paulo (DER-MG, 2014).

Segundo o Relatório de Projeto encomendado pelo Departamento de Estradas de Rodagem, DER-MG (2014), a rodovia possui uma plataforma implantada em pista simples, com duas faixas com 3,50 m de largura. O acostamento possui, no máximo 1,0 m de largura, não demarcado. Seus dispositivos de drenagem possuem 1,0 m de largura, cada.

O segmento desta rodovia compreendido entre as cidades de São Brás do Suaçuí e São João del Rei se desenvolve em região de altitudes elevadas, resultando em um traçado sinuoso, composto por curvas horizontais sucessivas com raios pequenos e rampas com declividade elevadas (DER-MG, 2014). A Figura 1 mostra o trecho em estudo da MGC-383.

Figura 1: Segmento da MGC-383 compreendido entre (A) São Brás do Suaçuí e (B) São João del Rei.



Fonte: (GOOGLE, 2019).

Esta rodovia é de grande importância regional, pois é utilizada como corredor para o escoamento de produtos siderúrgicos para a região norte do estado de São Paulo. Porém, o maior volume de veículos que circulam na MGC-383 é de veículos de passeio, devido ao grande aporte turístico da região, sobretudo nas cidades de Tiradentes e São João del Rei, bem como cidades do Sul de Minas que possuem estâncias hidrominerais (DER-MG, 2014).

Estudos realizados em 2011, segundo a memória de cálculo do projeto encomendado pelo DER-MG (Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração, Aumento de Capacidade, Implantação e Pavimentação, 2014), apontam que o volume de tráfego do segmento em estudo da rodovia varia entre 3500 a 6000 veículos/dia. Destes, os veículos de carga possuem uma participação de 18% a 24%.

Portanto, observando os fatos previamente citados, objetivou-se uma análise do entroncamento quanto aos elementos constituintes de projeto, bem como à seção transversal, para diagnosticar possíveis problemas que causem diminuições dos níveis de serviço, além da segurança e conforto de todos os usuários da via.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Classificação das Rodovias

Devido à grande diversidade das rodovias brasileiras, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) elaborou meios de agrupá-las em categorias comuns, permitindo classificá-las devido à sua importância regional ou nacional, e quanto a sua capacidade, de modo que seguissem uma sequência lógica do tipo de serviço que elas podem oferecer no contexto da infraestrutura de transporte (LEE, 2000).

Por consequência, foram criadas duas classificações: a primeira é definida como classificação funcional, que é feita em função do tipo de serviço a partir das funções básicas de mobilidade e acessibilidade proporcionadas; e a segunda, classificação técnica, em função das características técnicas para projeto (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017), definindo as dimensões e as configurações espaciais com que a rodovia deve ser projetada para atender a demanda que lhe é solicitada (LEE, 2000).

#### 2.1.1 Classificação Funcional

Segundo Pimenta *et. al.* (2017) essa classificação visa agrupar as rodovias da Rede Rodoviária Nacional em sistemas e classes, considerando a função da mobilidade de tráfego e acesso que elas exercem na malha rodoviária. São separadas em três categorias, detalhadas a seguir:

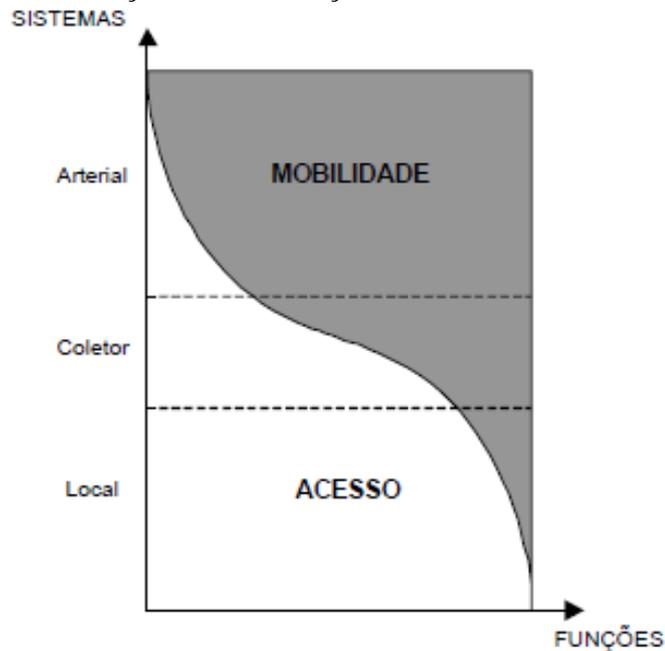
- Sistema arterial: proporcionam alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego, atendendo longas distâncias, tanto interestaduais como internacionais;
- Sistema coletor: atendem núcleos populacionais ou centros de tráfego de menor importância, não atendidos pelo sistema arterial. Dentro de uma área específica, possui finalidade de proporcionar mobilidade e acesso a ela;
- Sistema local: geralmente são rodovias de pequena extensão, proporcionando acesso ao tráfego intermunicipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias mais importantes.

São considerados, ainda, os conceitos de extensão de viagem e de rendimentos decrescente, os quais permitem que haja uma distinção das funções que cada rodovia pode oferecer, subdividindo os sistemas Arterial e Coletor em classes específicas (LEE, 2000).

O conceito de extensão de viagem, segundo Lee (2000), relaciona o fato de que longas viagens estão, geralmente, associadas a níveis de mobilidade crescentes e possibilidade de acesso menores. Logo, a maioria das viagens longas demanda rodovias do Sistema Arterial, enquanto a maioria das viagens curtas demanda rodovias do Sistema Local. A primeira oferece grande mobilidade, enquanto a segunda oferece baixa mobilidade e altas possibilidades de acesso.

A Figura 2 relaciona as funções de mobilidade e de acesso entre os três sistemas de classificação funcional das rodovias.

Figura 2: Relação entre as funções de mobilidade e de acesso

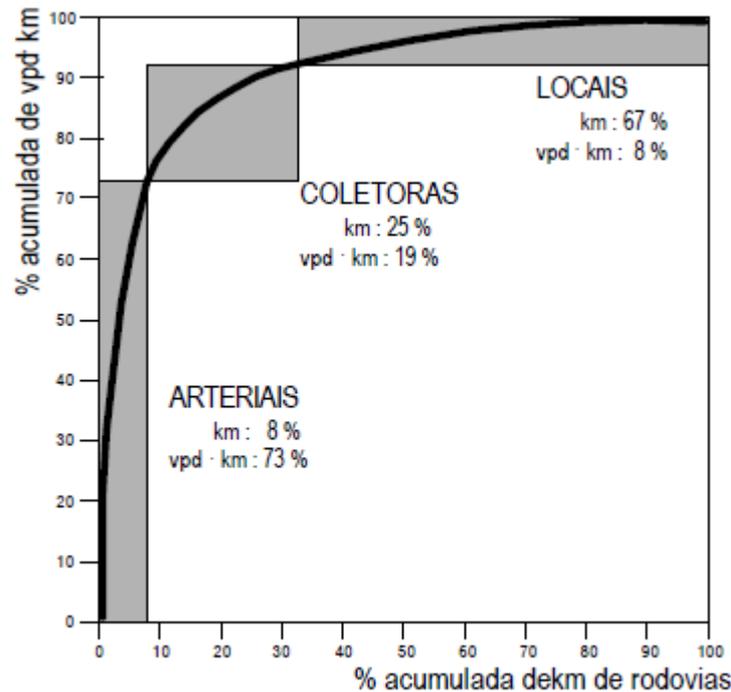


Fonte: (LEE, 2000).

Já o conceito de rendimentos decrescentes relaciona que, num sistema de rodovias, as maiores quantidades de fluxo ocorrem em uma pequena parcela da extensão da via, enquanto que em uma grande parte da extensão da mesma, a rede atende a fluxos pequenos (LEE, 2000).

Considerando-se esses dois conceitos, pode-se caracterizar as rodovias mais adequadas para cada padrão de extensão de viagem e a quantificação dos respectivos trechos homogêneos e fluxos permite a construção da curva de rendimentos decrescentes, conforme apresentada na Figura 3.

Figura 3: Curva de rendimentos decrescentes e limites de cada sistema funcional



Fonte: (LEE, 2000)

Nota-se que o Sistema Arterial serve ao trânsito de longo curso e grandes geradores de tráfego, o que demanda elevados níveis de mobilidade, atendendo ao maior fluxo de veículos (veículos diários x quilômetros, vpd\*km), porém compreende uma pequena porcentagem da extensão total de rodovias. Já o Sistema Local serve aos pequenos geradores de tráfego e ao curto percurso, gerando maiores possibilidades de acesso e baixos níveis de mobilidade, fazendo com que atenda a um pequeno fluxo de veículos. Contudo, o Sistema Local abrange uma quantidade significativa da extensão total da rede rodoviária brasileira (LEE, 2000).

### 2.1.2 Classificação Técnica

Esse tipo de classificação utiliza o volume médio diário (VMD) ou o volume por hora (VPH) de tráfego previsto para o décimo ano de operação da rodovia, chamado de ano-horizonte, após liberação do tráfego (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017) e o relevo da região analisada (LEE, 2000).

O volume de tráfego é definido como o número de veículos que passam por um determinado trecho em um dado intervalo de tempo, podendo ser o VMD ou o VPH. Essas grandezas expressam a demanda solicitante da via. Com isso, cada classe de projeto estabelece

características adequadas para atenderem os volumes de tráfego previstos para as rodovias (LEE, 2000).

Além da utilização dos volumes de tráfego para classificação de uma rodovia, o critério técnico estabelece a velocidade diretriz, ou velocidade de projeto, mínima recomendada para a concepção da rodovia. Esse valor consiste na maior velocidade com que um trecho pode ser percorrido, com segurança pelo usuário, em função do relevo em que se encontra a via (LEE, 2000).

Logo, define-se as cinco classes de categorização das rodovias brasileiras, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Classes de Projeto para rodovias rurais

Classes de Projeto	Características	Critério de Classificação Técnica	Velocidade de projeto (km/h)		
			Plano	Ondulado	Montanhoso
0	Via expressa (Controle Total de Acessos)	Decisão Administrativa	120	100	80
I	A Pista Dupla (Controle Parcial de Acessos)	O Projeto em pista simples resultaria em Níveis de Serviço inferiores ao aceitável	100	80	60
	B Pista Simples	Volume de Tráfego Projetado: $VPH > 200$ ou $VMD > 1400$			
II	Pista Simples	Volume de Tráfego Projetado: $700 < VMD < 1400$	100	70	50
III	Pista Simples	Volume de Tráfego Projetado: $300 < VMD < 700$ .	80	60	40
IV	A Pista Simples	Tráfego na data de abertura: $50 < VMD < 200$ .	60	40	30
	B Pista Simples	Tráfego na data de abertura: $VMD < 50$ .			

Fonte: (LEE, 2000), adaptado.

Nota-se que, embora o relevo não seja uma característica inerente à rodovia, também é considerado para fins da classificação técnica. Isto se deve, não somente ao grau de dificuldade para o projeto e construção de rodovias de graus similares em regiões diferentes e, conseqüentemente à diferença de custos, mas também ao fato de que os usuários se conformam em trafegar em rodovias com geometrias com maior presença de curvas e rampas mais acentuadas (implicando em velocidades menores), ao notarem condições de relevo mais adversas (LEE, 2000).

## 2.2 Velocidade de projeto

A velocidade é um dos principais elementos condicionantes do projeto rodoviário. Ela tem participação fundamental na determinação da maioria das características técnicas da rodovia (DNER, 1999).

A velocidade em uma rodovia não é constante ao longo de todo o seu trajeto, tampouco ao longo de todo ano. Segundo (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017), em determinados trechos, um veículo desenvolve velocidades diferentes, que dependem das condições climáticas, ou seja, o motorista irá diminuí-la quando há chuva ou neblina; das condições de tráfego, variando quanto ao volume e composição do mesmo; das condições do condutor, variando a velocidade a partir da capacidade e habilidade do mesmo, além de seu comportamento e estado psicológico; da capacidade operacional do veículo, levando em conta o tipo do mesmo, características da carga transportada, peso, potência do motor, estado de conservação, entre outros. Diante de todas essas variáveis, faz-se necessário a definição de valores padronizados de velocidade para elaboração de projetos viários. A essa definição, dá-se o nome de velocidade de projeto ( $V_p$ ), ou velocidade diretriz.

A velocidade de projeto é definida como a maior velocidade que um veículo padrão pode desenvolver em condições normais de um trecho de rodovia, proporcionando, principalmente, segurança e conforto (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017). Esse valor de referência está associado, sempre, com parâmetros funcionais da via como os raios mínimos de curvatura, superelevação, distância de visibilidade, entre outros. Portanto, está diretamente ligada aos custos de construção. Logo, rodovias com funções operacionais importantes justificam a adoção de valores altos para velocidade diretriz, enquanto rodovias secundárias devem adotar velocidades menores, reduzindo, assim, os custos de construção (DNER, 1999). Além disso, o tempo de viagem na rodovia pode ser levado em consideração na hora da escolha da velocidade de projeto, sendo um fator importante a ser considerado ao se projetar uma

rodovia. Pode-se calcular esse tempo de viagem pela Equação 1 (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

$$t = \frac{d}{V_p} \quad (1)$$

Sendo,

t = tempo de percurso, em horas;

d = extensão do trecho da rodovia, em km;

$V_p$  = velocidade de projeto, em km/h.

A Tabela 2 mostra os valores recomendados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1999) para velocidades de projeto.

Tabela 2 - Velocidades de projeto recomendadas pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

<b>Classe da Rodovia</b>	<b>VMD (veículos por dia)</b>	<b>Tipo de Terreno</b>	<b>Velocidade de projeto (km/h)</b>
<b>0</b>	4.401 a 50.000	plano	120
		ondulado	100
		montanhoso	80
<b>I</b>	1.501 a 4.400	plano	100
		ondulado	80
		montanhoso	60
<b>II</b>	501 a 1.500	plano	100
		ondulado	70
		montanhoso	50
<b>III</b>	até 500	plano	80
		ondulado	60
		montanhoso	40
<b>IV</b>	menor que 500	plano	80 - 60
		ondulado	60 - 40
		montanhoso	40 - 30

Fonte: (DNER, 1999), adaptado de (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017)

As características geométricas das rodovias são calculadas em função da velocidade diretriz definida. Velocidades de projeto elevadas requerem características geométricas melhores, podendo elevar consideravelmente os custos (FILHO, 1998).

### 2.3 Velocidade média de percurso

A velocidade média de percurso ( $V_m$ ), também chamada de velocidade de operação é definida como a média das velocidades de todo o tráfego ou parte dele. É obtida através da somatória das distâncias percorridas e dividindo-as pela somatória dos tempos de percurso (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

A *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)* (2011) propõe valores que correlacionam a velocidade de projeto e a velocidade média de percurso, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação entre a velocidade de projeto e a velocidade média de percurso de acordo com a (AASHTO, 2011).

$V_p$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$V_m$ (km/h)	30	40	47	55	63	70	77	85	91	98	102

Fonte: (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Devido, especialmente às condições de tráfego, os veículos não conseguem percorrer toda a estrada na velocidade de projeto, logo, pode-se utilizar a velocidade média para a definição das características geométricas das rodovias (FILHO, 1998).

### 2.4 Níveis de Serviço

O conceito de Níveis de Serviço foi criado pelo *Highway Capacity Manual (HCM)* (Highway Capacity Manual: Especial Report 87, 1965), oferecendo uma avaliação do grau de eficiência do serviço oferecido pela via. Ele foi desenvolvido visto que as Classes de Projeto não representam plenamente as condições de utilização das rodovias pelos usuários. Velocidade média e tempo seguindo são parâmetros levados em consideração para a definição desses níveis. O primeiro é a razão entre a distância de um segmento da rodovia e o tempo médio de percurso

dos veículos nesse trecho. O segundo é definido como o percentual de tempo em que os veículos trafegam em pelotão em determinada rodovia, aguardando oportunidades de realizar ultrapassagens sobre veículos mais lentos (ESPECIAL REPORT, 2000).

A Tabela 4 define os seis Níveis de Serviço, classificados de “A” a “F”.

Tabela 4: Níveis de Serviço

<b>Nível de Serviço</b>	<b>Tempo seguindo (%)</b>	<b>Velocidade média (km/h)</b>
A	$t \leq 35$	$V \geq 90$
B	$35 < t < 50$	$80 < V < 90$
C	$50 < t < 65$	$70 < V < 80$
D	$65 < t < 80$	$60 < V < 70$
E	$t \geq 80$	$V \leq 60$
F	Atingido quando o fluxo excede a capacidade	

Fonte: (DNIT, 2006), adaptado.

O Nível de Serviço A caracteriza a condição de escoamento livre, com baixo volume de tráfego e altas velocidades, dentro dos limites impostos. O Nível B é caracterizado por um fluxo estável e possui velocidades de operação restringidas pelas condições de tráfego e ainda há oportunidades de ultrapassagem. O Nível de Serviço C ainda possui fluxo estável, porém, devido ao alto volume de tráfego, as velocidades e ultrapassagens são limitadas. O Nível de Serviço D possui velocidades de operação toleráveis, mas notadamente afetadas pelo alto volume de tráfego. O Nível E é chamado de nível de capacidade. A via possui fluxo instável e não há condições de ultrapassagem, funcionando em plena carga máxima. O Nível de Serviço F é caracterizado pelo escoamento forçado, com baixas velocidades, podendo ser reduzidas a zero em situações extremas. São formadas filas extensas que impossibilitam ultrapassagens (FILHO, 1998). O HCM (Highway Capacity Manual, 2000) cita que a capacidade máxima de uma rodovia em pista simples é de 1700 carros de passeio por hora (cp/h), para cada pista, ou de 3200 cp/h em ambos os sentidos da via. Logo, o Nível F é atingido quando essa capacidade é excedida.

## 2.5 Inclinação máxima e mínima das rampas

O perfil longitudinal de uma via é a representação no plano vertical das diferenças de nível, cotas ou altitudes obtidas ao longo do eixo da via (FILHO, 1998). A adequação das inclinações longitudinais e transversais substituindo a superfície natural do terreno por uma superfície planejada, de forma a suprir as exigências de operação de uma rodovia, é chamada de greide (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) apresenta os valores recomendados de inclinação máxima para rampas, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Inclinação máxima em rampas (%).

Classe de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3	4	5
Classe I	3	4,5	6
Classe II	3	5	7
Classe III	4	6	8
Classe IV-A	4	6	8
Classe IV-B	6	8	10*

\*É recomendado que a extensão de rampas acima de 8% deverá ser limitada a 300 m de comprimento.  
Fonte: (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Rampas com inclinação máxima de até 3% permitem a circulação de automóveis sem restrições e pouco afetam a velocidade de veículos de carga, sendo recomendadas para rodovias com alta velocidade de projeto. Já as rampas de até 6% pouco influenciam no movimento dos automóveis, porém prejudicam consideravelmente a velocidade exercida por veículos de carga, sendo indicadas para rodovias com baixa velocidade de projeto. As rampas superiores a 7% são recomendadas apenas para rodovias secundárias, com baixo volume de tráfego, onde a velocidade reduzida dos veículos de carga não provoque congestionamentos. Em rodovias destinadas apenas ao tráfego de veículos de passeio, pode-se adotar rampas superiores a 7%, com um limite de 12% (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Deve-se garantir, também, valores mínimos de rampas para que haja um escoamento das águas pluviais onde a evacuação no sentido transversal à pista não for satisfatório. Logo, inclinações de, no mínimo 0,5%, devem ser adotadas em rodovias que possuem um pavimento

de alta qualidade e rampas mínimas de 1% em rodovias com pavimentos de qualidade média ou baixa. Trechos em nível (inclinação de 0%) também podem ser adotados, desde que haja condições suficientes para escoamento das águas pluviais (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

## 2.6 Distância de visibilidade

A distância de visibilidade pode ser definida como a extensão da rodovia que pode ser vista à frente do condutor do veículo, que possibilite a ele tomar decisões de segurança necessárias. Quanto maior a distância de visibilidade, maior a segurança da rodovia (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Para se obter a segurança desejada, existem alguns valores mínimos que devem ser adotados. São eles a distância de visibilidade de frenagem ( $d_f$ ) e a distância de visibilidade de ultrapassagem ( $d_u$ ) (LEE, 2000). Para o presente trabalho será apresentada somente a distância de visibilidade de frenagem, visto que o mesmo trata sobre uma interseção e, segundo o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997), em seu Artigo 33, não são permitidas ultrapassagens nas interseções ou em suas proximidades.

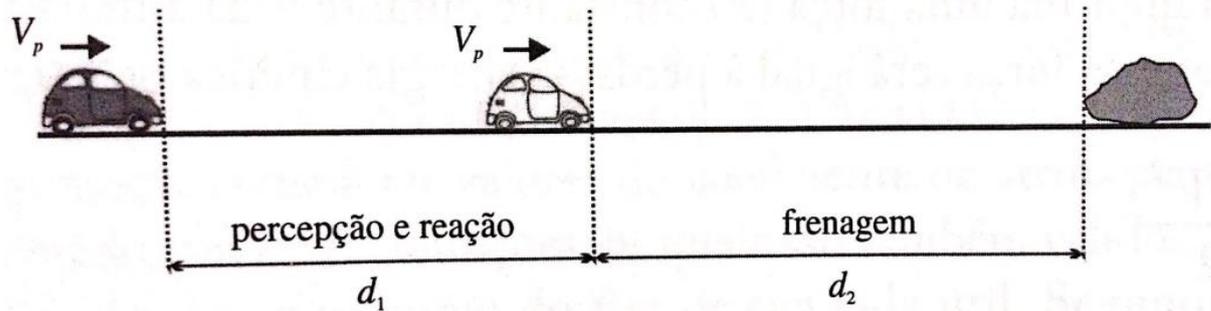
### 2.6.1 Distância de visibilidade de frenagem

Pode-se definir a distância de visibilidade de frenagem como a distância mínima que um veículo que percorre uma estrada necessita para parar antes de atingir um obstáculo à frente (FILHO, 1998).

Ao avistar um empecilho na pista, o condutor não começa a desacelerar o carro instantaneamente. O mesmo demanda um tempo de reação para acionar os freios. Esse intervalo entre a percepção do obstáculo e o acionamento dos freios é chamado de “Tempo de percepção e reação” ( $t_r$ ) e a distância percorrida durante o  $t_r$  é chamada de  $d_1$ . Existe, também, o tempo para que o veículo pare, ou seja, o “tempo de frenagem e parada”. A distância percorrida durante esse intervalo é chamada de  $d_2$  (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Logo, a soma das duas distâncias ( $d_1$  e  $d_2$ ) é a distância de visibilidade de frenagem. A Figura 4 exemplifica esses dois conceitos.

Figura 4: Distância de visibilidade de frenagem



Fonte: (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Para o cálculo de  $d_1$ , tem-se a Equação 2:

$$d_1 = \frac{V}{3,6} * t_r \quad (2)$$

Sendo,

$V$  = velocidade do veículo, em km/h;

$t_r$  = tempo de percepção e reação, em segundos (s);

$d_1$  = distância percorrida pelo veículo durante o tempo  $t_r$ .

A AASHTO, baseada em experimentos, recomenda adoção de um tempo de percepção de 1,5 segundo e um tempo de reação igual a 1,0 segundo. Sendo assim, o tempo de percepção e reação é igual a 2,5 segundos (PEREIRA, RATTON, *et al.*, 2010)

A distância  $d_2$  pode ser calculada com base na perda de energia cinética do veículo durante a frenagem. Logo, ela é dada pela equação 3:

$$d_2 = 0,0039 \frac{V^2}{f} \quad (3)$$

Sendo,

$f$  = coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento;

$V$  = velocidade do veículo no início da frenagem, em m/s.

Logo, conclui-se que a distância  $d_2$  é:

Com isso, a distância total de frenagem,  $d_f$ , é a soma das distâncias parciais,  $d_1$  e  $d_2$ , sendo expressa pela Equação 4:

$$d_f = \frac{V}{3,6} * t_r + 0,0039 \frac{V^2}{f} \quad (4)$$

O coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento é dependente das características da superfície do pavimento. Recomenda-se, por questões de segurança, a adoção de valores para a condição de pista molhada, em boas condições, sendo válidos, também, para pavimentos secos, muito deteriorados e próximos ao fim de vida útil (AASHTO, 2011).

A velocidade a ser considerada nos cálculos é a velocidade diretriz ( $V = V_p$ ). Porém, geralmente, os condutores reduzem a velocidade dos veículos em situações adversas, como chuvas ou em rodovias com pavimentos ruins. Portanto, pode-se assumir como velocidade de cálculo a velocidade média de percurso ( $V = V_m$ ). Com isso, dá-se o nome de frenagem mínima para essa distância de frenagem (PEREIRA, RATTON, *et al.*, 2010).

Pode-se considerar adoção da velocidade média como parâmetro para cálculo, também, quando o uso dos valores recomendados significarem um aumento excessivo dos custos para a construção da rodovia, visto que, as distâncias de frenagem serão maiores à medida que as velocidades são maiores (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Os valores dos coeficientes de atrito longitudinais e distâncias totais de frenagem para cada velocidade estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Coeficiente de atrito longitudinal e distâncias totais de frenagem, segundo a AASHTO (2011).

Velocidade de projeto (km/h)	Velocidade média de percurso (km/h)	Tempo de reação (s)	Coeficiente de atrito longitudinal	Distância total de frenagem em nível (m)	
				Desejável	Mínima
30	30	2,5	0,40	29,8	29,8
40	40	2,5	0,38	44,4	44,4
50	47	2,5	0,35	62,9	57,5
60	55	2,5	0,33	84,5	74,3
70	63	2,5	0,31	110,6	94,0
80	70	2,5	0,30	139,2	112,7
90	77	2,5	0,30	168,3	131,0
100	85	2,5	0,29	204,5	156,7
110	91	2,5	0,28	245,5	179,0
120	98	2,5	0,28	284,6	202,4

Fonte: (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Todos esses cálculos foram considerados para uma pista de rolamento em nível. Contudo, as rodovias são compostas por trechos em nível e em rampa (aclives e declives). Logo, nos trechos em rampa, a composição do peso pode favorecer a frenagem, em subidas, ou dificultar, em descidas (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Com isso, à equação de distância total de frenagem, acrescenta-se o parâmetro de inclinação da rampa ( $i$ ), como mostrado na Equação 5.

$$d_f = \frac{V}{3,6} * t_r + 0,0039 \frac{V^2}{f + i} \quad (5)$$

Sendo,

$d_f$  = distância total de frenagem, em m;

$V$  = velocidade do veículo  $V_p$  ou  $V_m$ , em km/h;

$f$  = coeficiente de atrito longitudinal entre o pneu e o pavimento;

$i$  = inclinação da rampa expressa em decimais, sendo positiva para aclives e negativo para declives.

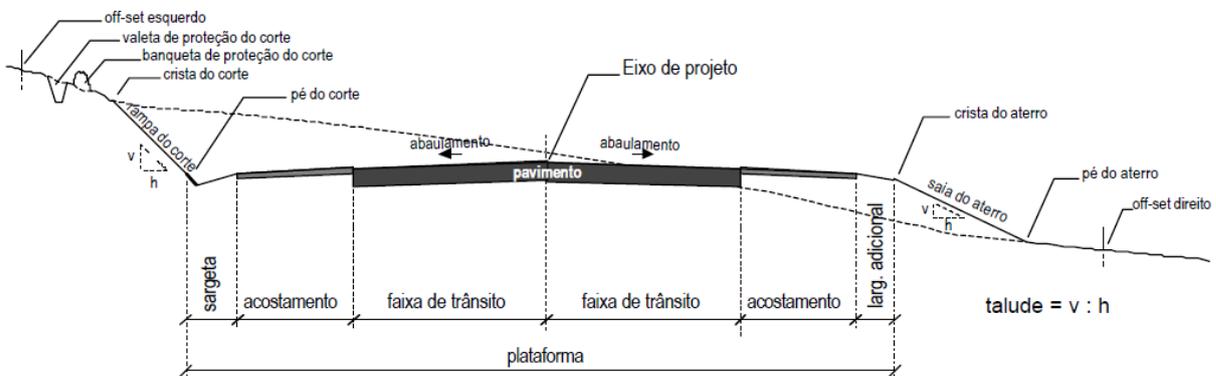
O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) ressalta que, os valores calculados de distâncias de visibilidade se referem a veículos de passeio. Veículos maiores e mais pesados necessitam de maiores distâncias para parar se comparado com os carros de passeio, para uma mesma velocidade. No entanto, o motorista desses veículos maiores possui uma posição de dirigir mais alta, o que possibilita que vejam uma obstrução bem mais longe se comparado a um carro. Logo, não se costuma considerar valores separados para esses casos. Porém, deve-se ter o cuidado de conseguir distâncias de visibilidade maiores que as mínimas calculadas, principalmente ao fim de longas descidas, já que a posição de dirigir mais alta pouco ajudará em caso de uma frenagem de emergência

## 2.7 Seção Transversal

Seção transversal de uma rodovia se caracteriza pela vista ortogonal de elementos da via, segundo planos de corte verticais perpendiculares ao eixo da mesma (LEE, 2000). É definida no projeto em função das características geométricas e de operação. Para os trechos em tangente, tem-se uma seção transversal típica (seção tipo), em que são definidas as inclinações-padrão dos elementos geométricos, dos elementos de drenagem, pavimentação, serviços auxiliares e paisagismo (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

A Figura 5 ilustra uma seção transversal tipo.

Figura 5: Seção transversal tipo

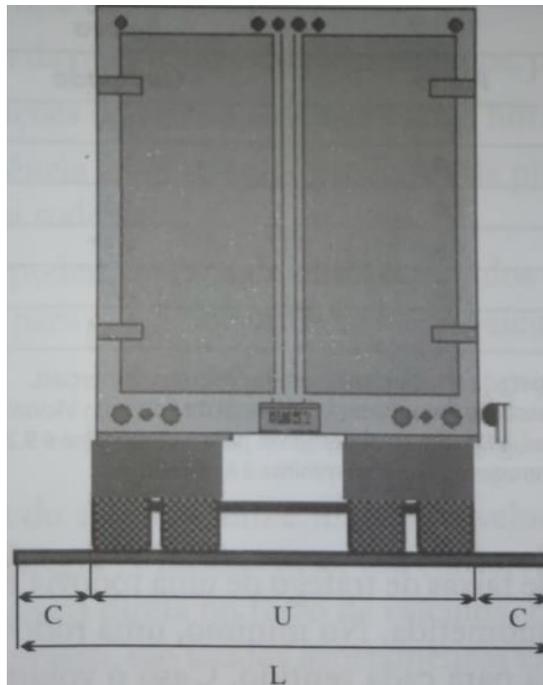


Fonte: (LEE, 2000).

### 2.7.1 Faixas de rolamento

A faixa de rolamento ou faixa de trânsito é o espaço determinado ao fluxo de veículos. É projetado em função de um veículo padrão, representativo da frota que irá circular na rodovia. Quanto maior for a largura, mais segurança e conforto a rodovia fornecerá, entretanto, o custo também será maior (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017). Conforme indicado na Figura 6 e na Equação 6, a largura total da faixa de rolamento ( $L$ ) é dada pela largura do veículo padrão ( $U$ ) e pelos espaços de segurança ( $C$ ).

Figura 6: Largura da faixa de tráfego em função do veículo padrão.



Fonte: (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

$$L = U + 2C \quad (6)$$

O veículo de projeto pode ser definido como um veículo teórico de certa categoria que representa as características da maioria dos veículos existentes na mesma. Existem quatro grupos básicos desses veículos. O primeiro, “VP”, são os veículos de passeio leves, como os automóveis, *pick-ups*, furgões e correspondentes. O segundo, “CO”, são os comerciais rígidos, abrangendo caminhões e ônibus de dois eixos. O terceiro, “SR”, são os veículos comerciais articulados compostos por uma unidade tratora e o semirreboque. O último, “O”, representa os veículos comerciais rígidos maiores que os “CO”, como ônibus de turismo e caminhões longos (LEE, 2000). A Tabela 7 apresenta a largura total para cada veículo de projeto.

Tabela 7: Dimensões básicas dos veículos de projeto (m).

Característica do veículo	Veículo de Projeto			
	VP	CO	O	SR
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6

Fonte: (LEE, 2000), adaptado.

Já a Tabela 8 fornece os valores propostos pelo DNER (1999) para a largura das faixas de rolamento.

Tabela 8: Largura das faixas de rolamento (m).

Classe de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,6	3,6	3,6
I	3,6	3,6	3,5
II	3,6	3,5	3,3*
III	3,5	3,3*	3,3
IV-A**	3,0	3,0	3,0
IV-B**	2,5	2,5	2,5

\*Preferivelmente 3,5 metros, quando esperada alta porcentagem de veículos comerciais.

\*\*Os valores referentes à Classe IV são baseados na publicação “Manual de Rodovias Vicinais” – BIRD/BNDE/DNER 1976.

Fonte: (DNER, 1999).

O número de faixas de trânsito de uma rodovia é determinado pelo volume de tráfego a qual irá receber. No mínimo, deve-se haver duas faixas de tráfego, uma para cada sentido. Caso o volume de tráfego seja grande, deve-se projetar pistas com quatro ou mais faixas. Em locais com rampas longas e/ou inclinações elevadas, é comumente adotada a solução de implantação de uma terceira faixa, objetivando a facilitação da ultrapassagem (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

### 2.7.2 Acostamento

Os acostamentos são espaços adjacentes à faixa de rolamento. São destinados à parada emergencial de veículos, não sendo dimensionados para suportar trânsito de veículos. O acostamento adjacente à faixa mais à direita é denominado acostamento externo. Já o adjacente à faixa mais à esquerda é denominado acostamento interno. Assim como na faixa de rolamento, os acostamentos também devem dotar de inclinações transversais para escoamento das águas superficiais (LEE, 2000).

O Manual de Projetos Geométricos (DNER, 1999) recomenda que os acostamentos possuam textura, rugosidade, coloração ou outras características que contrastem com a pista, evitando que o mesmo seja confundido com a faixa de rolamento.

Tem-se, na Tabela 9, os valores recomendados para a largura dos acostamentos externos.

Tabela 9: Largura dos acostamentos externos, em metros.

Classe de projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,5	3,0 – 3,5*	3,0 – 3,5*
I	3,0 – 3,5*	2,5	2,5
II	2,5	2,5	2,0
III	2,5	2,0	1,5
IV-A**	1,3	1,3	0,8
IV-B	1,0	1,0	0,5

\*Preferivelmente 3,5 metros onde for previsto um volume horário unidirecional de caminhões superior a 250 veículos.

\*\*Os valores referentes à Classe IV são baseados na publicação “Manual de Rodovias Vicinais” – BIRD/BNDE/DNER 1976. No caso de rodovias não pavimentadas, representam a contribuição para estabelecimento da largura da plataforma.

Fonte: (DNER, 1999).

### 2.7.3 Dispositivos de drenagem

O escoamento das águas pluviais é imprescindível para que haja uma conservação do pavimento de uma rodovia e o mesmo mantenha suas características durante todo o tempo de vida para qual foi projetado. Para isso, deve-se prever dispositivos de drenagem adequados e

que garantam o escoamento das águas superficiais e subterrâneas (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Em rodovias de pista simples, recomendam-se espaços de 1,0 m adjacentes aos acostamentos para instalação desses dispositivos. Em pistas duplas, além desses espaços laterais, devem ser considerados, também, espaços para construção dos dispositivos de drenagem ao longo do canteiro central (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

## **2.8 Interseções rodoviárias**

Interseções rodoviárias são áreas em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam. Possuem um espaço destinado a facilitar a movimentação dos veículos que cruzam por elas (DNIT, 2005). As interseções adotadas nas rodovias são muito importantes, uma vez que as mesmas podem interferir na segurança das vias, na capacidade de tráfego, na velocidade de operação e no custo, já que são obras que exigem, geralmente, grande áreas para serem implantadas (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) classifica-as em “Interseções em nível”, quando os cruzamentos ou confluências possuem a mesma altitude, ou em “Interseções em desnível”, quando as vias se cruzam em níveis diferentes por meio de estruturas de separação dos greides.

Cada uma dessas duas classificações pode, ainda, ser divididas em subgrupos. São eles os cruzamentos, entroncamentos e as rotatórias. O primeiro é definido como o cômputo de duas vias. O segundo pode ser descrito como o início ou término de uma rodovia em outra. Já o último pode ser exposto como o encontro de duas ou mais vias dispostas em determinado ponto e a solução construtiva adotada é a implantação de uma praça central para distribuição do tráfego (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

### **2.8.1 Cruzamentos**

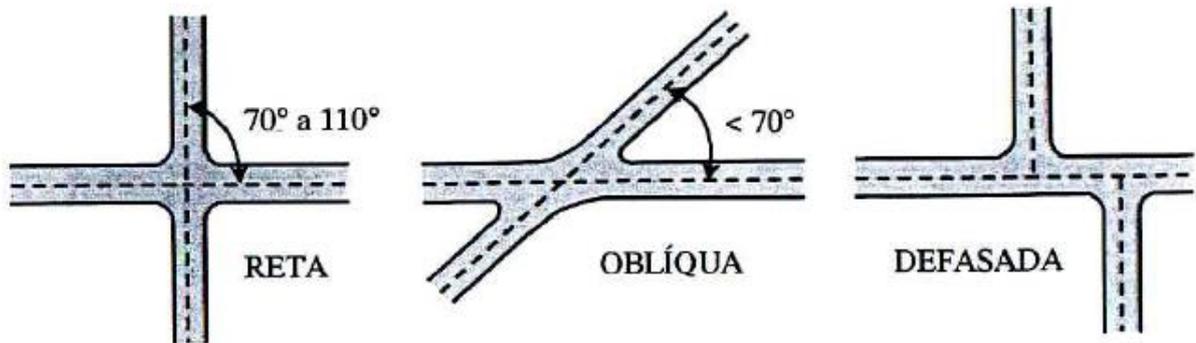
Também conhecida como interseção de quatro ramos, esse tipo de interseção pode ocorrer em seções retas (quando os ângulos dos cruzamentos variam entre 70° e 110°), oblíquas (ângulo inferior a 70°) ou assimétricas, também chamadas de defasadas (FILHO, 1998). O DNIT (2005) recomenda que os cruzamentos possuam alinhamento horizontal com ângulos entre 75° e 90°, pois esses valores são pouco restritivos à visibilidade e operação de tráfego.

Ângulos agudos, ou seja, menores que  $70^\circ$ , aumentam o tempo de exposição dos veículos que cruzam na via, aumentando os riscos de acidentes.

Contudo, o mesmo manual aceita interseções com ângulos de até  $60^\circ$  quando sua adoção implicar em significativas reduções nos custos de construção, se comparada à uma interseção com ângulos próximos a  $90^\circ$ .

A Figura 7 exemplifica esses tipos de cruzamento.

Figura 7: Tipos de Cruzamentos



Fonte: (FILHO, 1998)

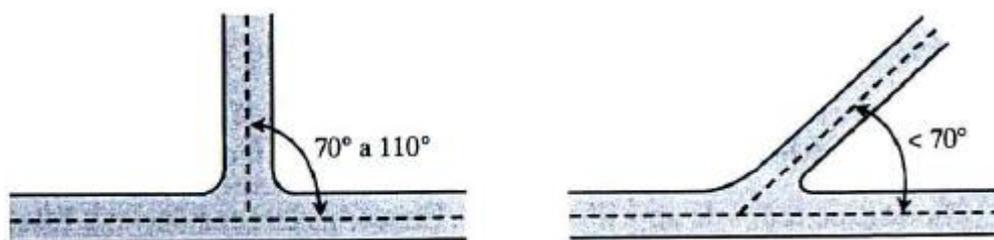
### 2.8.2 Entroncamentos

Chamada, também, de interseção de três ramos, possui formato do tipo “T”, quando o ângulo de interseção está entre  $70^\circ$  e  $110^\circ$ , ou formato “Y”, quando o ângulo for menor que  $70^\circ$  (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Esse tipo de interseção é muito comum quando há uma interconexão entre duas rodovias, sendo uma delas secundária. Existe, apenas, fluxos de conversão de entrada ou saída para a rodovia principal

A Figura 8 mostra os tipos de entroncamentos.

Figura 8: Tipos de Entroncamentos

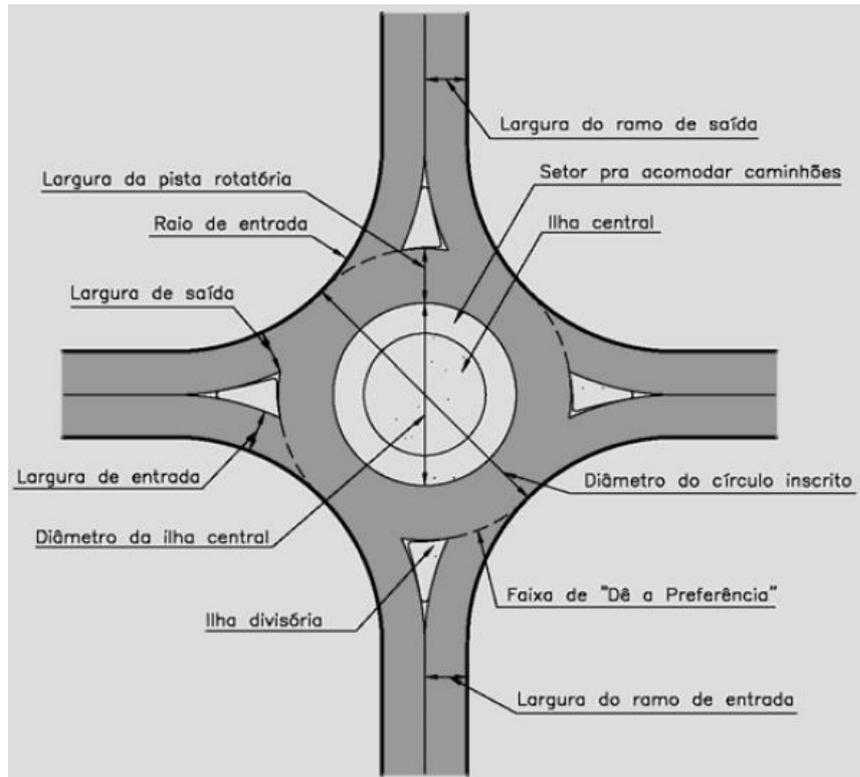


Fonte: (FILHO, 1998)

### 2.8.3 Rotatórias

As rotatórias são conhecidas como interseções em ramos múltiplos. Possuem como característica principal o tráfego de veículos no sentido anti-horário em torno de uma ilha central. A Figura 9 mostra um exemplo de rotatória e de seus elementos que a compõem.

Figura 9 - Rotatória e seus elementos.



Fonte: (DNIT, 2005).

As rotatórias são recomendadas para resolver certos conflitos de tráfego, como em interseções com mais de quatro ramos e com volumes de tráfego semelhante entre elas. Em contrapartida, causam conflitos de tráfego, sendo limitadas a um VMD inferior a 3000 veículos. Além disso, para que operem adequadamente, devem possuir grandes dimensões para facilitar a trafegabilidade e segurança aos usuários (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

### 2.8.4 Canalização do tráfego

A canalização pode ser utilizada para a separação ou regulamentação do tráfego conflitante em determinado ponto de uma via. Possui trajetória bem definida, como demarcações no pavimento, ilhas de canalização ou outros meios que visem aumentar a

segurança e ordenar a movimentação de veículos e pedestres (FILHO, 1998). Como orientações a serem seguidas, PIMENTA, et. al., (2017) apresenta alguns princípios de dimensionamento das interseções, mostradas a seguir:

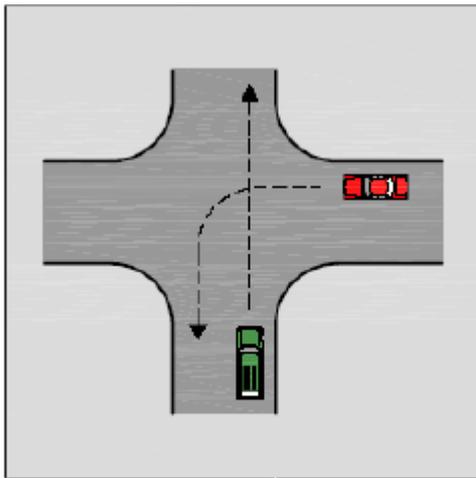
- Evitar áreas de conflito, à medida do possível;
- Cruzamentos de corrente de tráfego devem ocorrer em ângulos retos;
- A convergência da corrente de tráfego deve ser garantida por meio de ângulos pequenos, garantindo uma pequena diferença entre as velocidades relativas dos veículos;
- O afinilamento da faixa de tráfego dos veículos que se aproximam da corrente de tráfego estimula a redução de velocidade nas proximidades da interseção;
- Criar áreas de refúgios para os veículos que irão cruzar a interseção ou convergir para uma mesma corrente de tráfego, se necessário;
- Garantir total separação dos pontos de conflito;
- A canalização do tráfego deve garantir que os motoristas não se sintam encorajados a executarem manobras não permitidas.

### **2.8.5 Interferências nas correntes de tráfego**

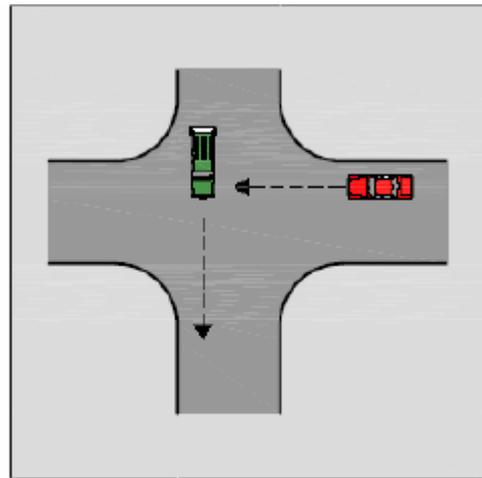
Ao transitarem por uma interseção, os veículos seguem correntes de tráfego, podendo sofrer interferências de outras correntes de tráfego, ou seja, essas correntes podem convergir, divergir ou se cruzarem. PIMENTA et. al. (2017) dá o nome de “pontos de conflito” à essas interferências.

A Figura 10 ilustra esses pontos de conflito.

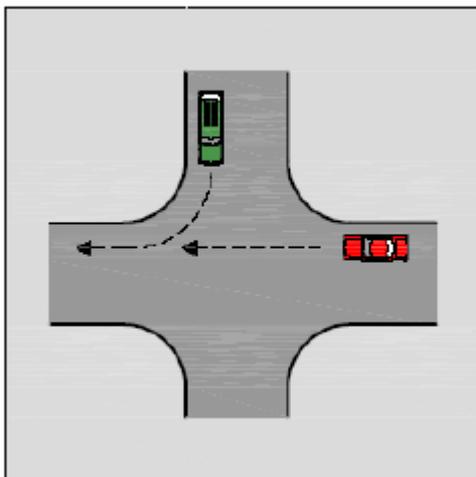
Figura 10: Pontos de conflito em interseções



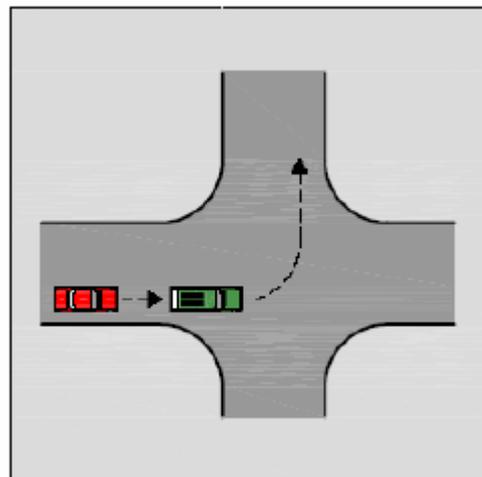
Conflito de cruzamento



Conflito de cruzamento



Conflito de convergência



Conflito de divergência

Fonte: (DNIT, 2005)

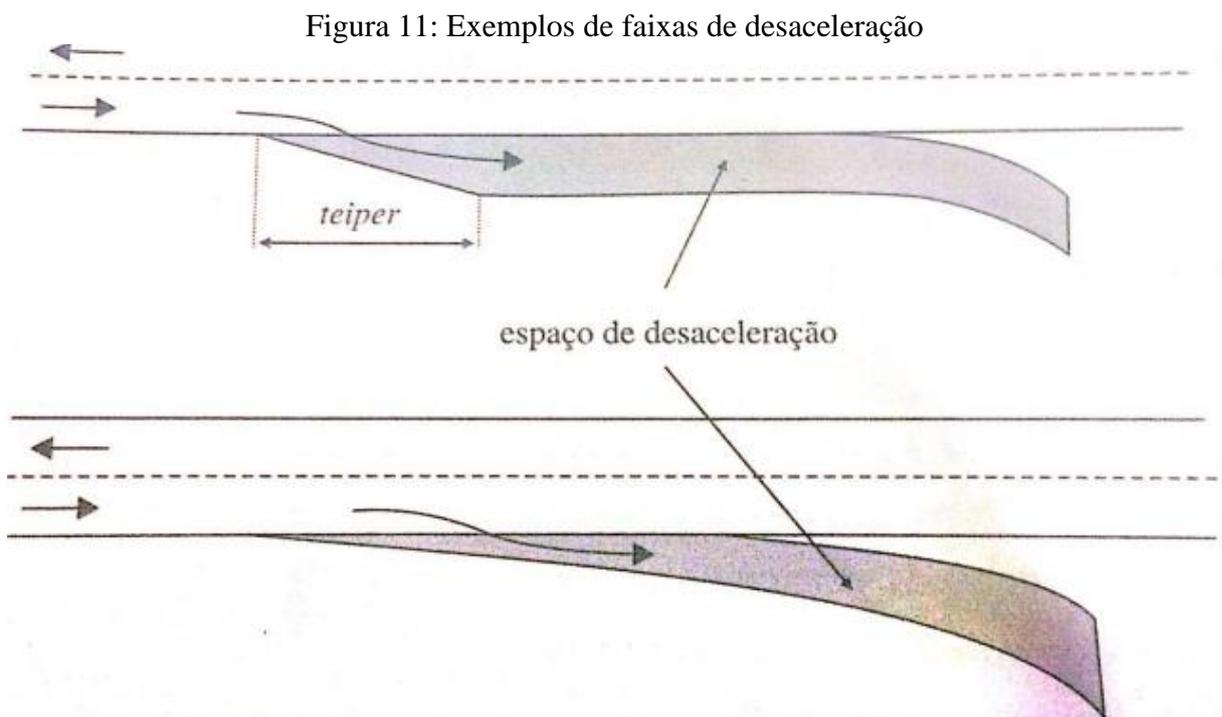
- Ponto de convergência: onde duas ou mais correntes de tráfego juntam-se para formar uma nova corrente;
- Ponto de divergência: local onde uma corrente de tráfego se separa formando novas correntes;
- Ponto de cruzamento: local onde as correntes de tráfego se cruzam;

Pontos de conflito devem ser reduzidos, na medida do possível, em interseções, porém, evitar tais pontos pode gerar custos elevados. PIMENTA et. al., (2017) ressalta que a maioria

das interseções ocorre em rodovias de baixo VMD, sendo que alguns pontos de conflito podem ser aceitos, desde que estejam implantados de modo adequado.

Em interseções com pontos de divergência, é necessário a existência de uma faixa adicional para que o condutor, ao sair da via principal, possa reduzir a velocidade para que entre na velocidade compatível à da outra corrente de tráfego. Essa faixa adicional tem como objetivo garantir aos condutores um espaço minimamente adequado para realizar toda a variação de velocidade com segurança e conforto, de modo que não provoque interferências com a corrente de tráfego principal. Além disso, a faixa de desaceleração deve acompanhar a faixa de tráfego da via principal, deve possuir mesma largura e mesmo perfil, a fim de se evitar discontinuidades (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

A faixa de desaceleração é formada por dois trechos: o “*taper*” ou “*teiper*”, que é o trecho destinado para a manobra de mudança de faixa e o “espaço para desaceleração”. A Figura 11 ilustra esses trechos.



Fonte: (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Um método para dimensionar o comprimento do *teiper* é adotar a velocidade de entrada no espaço de desaceleração como igual a  $0,7V_p$ , ou seja, considera-se que os veículos que desejam entrar nesse ramo reduzem a velocidade em 30% (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017). Logo, o comprimento do *teiper* ( $L_t$ ) é dado pela Equação 7:

$$L_t = 0,7V_p * t_e \quad (7)$$

Em que:

$L_t$  = comprimento do teiper, em metros;

$V_p$  = velocidade de projeto da via, em km/h;

$t_e$  = tempo de percurso no teiper.

Dados empíricos mostram que o deslocamento lateral de um veículo possui velocidade de aproximadamente 1 m/s. Com isso, em uma faixa de 3,5 metros de largura, um veículo demora cerca de 3,5 segundos para executar a manobra (FILHO, 1998). Logo, o valor recomendado de  $t_e$  é de 3,5 segundos.

Além disso, o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) apresenta valores tabelados para o comprimento para a faixa de desaceleração, incluído o teiper em função da velocidade de projeto da rodovia e do ramo de acesso, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Comprimentos da faixa de desaceleração.

Velocidade diretriz (km/h)	Teiper (m)	Comprimento da faixa de desaceleração, inclusive teiper (m)							
		Velocidade de projeto no ramo (km/h)							
		0	20	30	40	50	60	70	80
40	40	60	50	40	-	-	-	-	-
50	45	75	70	60	45	-	-	-	-
60	55	95	90	80	65	55	-	-	-
70	60	110	105	95	85	70	60	-	-
80	70	130	125	115	100	90	80	70	-
90	80	145	140	135	120	110	100	90	80
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	90	180	180	170	160	150	140	120	105
120	100	200	195	185	175	170	155	140	120

Fonte: (DNIT, 2005), adaptado

Nos pontos de convergência, também é necessário criar uma faixa adicional para que o motorista adentre na rodovia principal com segurança. Tal faixa é chamada de “faixa de aceleração”.

PIMENTA et. al., (2017), citam que para que um veículo saia de um ramo e entre em uma via principal, de modo seguro, é necessário que ao chegar no início da faixa ele pare, observe o tráfego da via principal e acelere pela faixa de aceleração até entrar na via preferencial. A velocidade de entrada não pode ser inferior a  $0,7V_p$ . Analogamente à faixa de desaceleração, a faixa de aceleração é dividida em dois ramos: “o espaço de aceleração” e o “teiper”.

O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) também possui valores tabelados para o comprimento das faixas de aceleração, conforme apresentado na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11: Comprimentos das faixas de aceleração.

Velocidade diretriz (km/h)	Teiper (m)	Comprimento da faixa de aceleração, inclusive teiper (m)							
		Velocidade de projeto no ramo (km/h)							
		0	20	30	40	50	60	70	80
40	40	60	50	40	-	-	-	-	-
50	45	90	70	60	45	-	-	-	-
60	55	130	110	100	70	55	-	-	-
70	60	180	150	140	120	90	60	-	-
80	70	230	210	200	180	140	100	70	-
90	80	280	250	240	220	190	140	100	80
100	85	340	310	290	280	240	200	170	110
110	90	390	360	350	320	290	250	200	160
120	100	430	400	390	360	330	290	240	200

Fonte: (DNIT, 2005), adaptado

## 2.8.6 Velocidades

O uso, nos ramos, das mesmas características mínimas adotadas para as vias que concorrem à interseção acarreta em obras de custos elevados. Para obter soluções mais econômicas, aconselha-se que a velocidade de projeto nos ramos das interseções seja reduzida para cerca de 60% a 70% da velocidade de projeto das vias (PIMENTA, SILVA, et al., 2017).

Logo, tem-se a Equação 8 para determinação da velocidade de projeto nos ramos da interseção:

$$V_r = k * V_p \quad (8)$$

Sendo,

$V_r$  = Velocidade de projeto dos ramos, em km/h;

$V_p$  = Velocidade de projeto das vias;

$K$  = 0,6 ou 0,7.

PIMENTA *et. al.* (2017), também, aconselham que em proximidades de pontos de conflito, nos dispositivos de canalização de tráfego onde os veículos precisem parar ou andar lentamente, pode-se adotar  $V_r = 30$  km/h.

### 2.8.7 Visibilidade

Os ramos das interseções devem ser projetados para possuírem características geométricas que permitam uma visibilidade da pista igual ou maior que a distância de visibilidade de frenagem, conforme visto anteriormente no Item 2.4.

Os pontos de convergência e divergência devem ser visíveis a uma distância mínima de 100 m, sendo que em vias de grande fluxo, essas distâncias podem ser maiores. Ramos em corte ou aterros que possuam perfis muito diferentes também devem ter cuidados especiais quanto à visibilidade, para que diferenças elevadas de cotas não escondam veículos que transitam nas vias (PIMENTA, SILVA, *et al.*, 2017).

Essas recomendações são feitas para que, ao se aproximarem de uma interseção, os motoristas possam dispor de distâncias de visibilidade suficientes para avistarem-se mutuamente, a tempo de evitarem colisões. Essa distância ao longo de cada ramo constitui o triângulo de visibilidade (DNIT, 2005).

### 2.8.8 Considerações sobre o projeto

PIMENTA *et. al.*, (2017) apresenta algumas considerações muito importantes que devem ser consideradas ao se projetar uma interseção. São elas:

- Em ramos com velocidade de projeto maior que 30 km/h, faz-se necessário que as curvas horizontais sejam concordadas com a tangente através de curvas de transição, levando-se em conta a velocidade de projeto no ramo;
- O motorista que trafega em um ramo de interseção aceita condições de conforto menores do que ao percorrer numa rodovia, logo, é possível calcular as curvas horizontais dos ramos utilizando valores máximos, bem como o coeficiente de atrito maior que o convencional;
- Dependendo da solução adotada, podem surgir curvas com grandes ângulos centrais. Nesse caso, pode ser necessário o uso de curvas compostas com mais de um raio. Porém, deve-se evitar as curvas compostas, porém caso não haja outra solução, essas curvas deverão ser concordadas com trechos de transição, para se evitar a passagem abrupta de um raio maior para outro menor;
- Em trechos com velocidade de projeto menor ou igual a 30 km/h pode-se dispensar o uso de superelevação, adotando-se, apenas, uma inclinação mínima para drenagem da pista;
- Aconselha-se o uso de rampas máximas de 7% para facilitar as concordâncias verticais nos pontos de convergência e divergência. Para facilitar a drenagem da pista, é necessário o uso de rampas mínimas de 0,5%, nos trechos em corte;
- A largura das faixas de tráfego dos diversos ramos depende do volume de tráfego e do tipo de veículo adotado, obedecendo, sempre, ao gabarito de giro dos mesmos;
- Deve-se dimensionar os ramos para que não haja engarrafamentos nas vias de acesso;
- Os ramos devem ter uma ou mais faixas de tráfego e acostamento, sempre que possível.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho utilizou como base o projeto de duplicação da rodovia MGC-383, chamado de “Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração, Aumento de Capacidade, Implantação e Pavimentação” (DER-MG, 2014), disponível em três volumes. O volume 1 contém o “Relatório do Projeto e Documentos para Concorrência”, o volume 2 contém o “Projeto de Execução” e o volume 3 contém a “Memória Justificativa”. O mesmo, além de apresentar todas as informações pertinentes ao projeto de ampliação da rodovia, caracteriza-a em sua situação atual, contendo o levantamento geométrico de toda rodovia e interseções existentes atualmente. O projeto foi obtido junto com o Engenheiro do DER-MG e está presente no Anexo B.

#### **3.1 Classificação da Rodovia, Nível de Serviço, Velocidade de Projeto e Velocidade Média**

Para classificação da rodovia e determinação da velocidade de projeto e do Nível de Serviço, a MGC-383 foi dividida em dois trechos. O primeiro, denominado “Segmento I” parte da cidade de São Brás do Suaçuí-MG (km 30,80) e termina no entroncamento com a cidade de Resende Costa-MG (km 91,10). O segundo trecho, denominado “Segmento II” se inicia no final do primeiro e termina na cidade de São João del Rei-MG (km 108,00). O entroncamento de Coronel Xavier Chaves (km 101,20) é situado no segundo trecho, logo, todas as informações aqui apresentadas serão pertinentes ao mesmo.

O estudo de capacidade e níveis de serviço foram realizados, segundo a Memória Justificativa (DER-MG, 2014), com as diretrizes do Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), adotando a versão “HCM/2000”. Foram realizadas contagens volumétricas e classificatórias de veículos e pesquisas de origem e destino, com o objetivo de subsidiar os dados e gerar uma estimativa de VMDAT para os anos de 2013 e 2022.

A velocidade média e a velocidade de projeto foram determinadas segundo a estimativa de VMDAT disponibilizada, comparando-a com os valores encontrados na Tabela 1, referente às Classes de Projeto definidas pelo DNIT.

Por fim, por meio da Equação 1 (tempo de percurso), calculou-se o impacto que os Níveis de Serviço apresentados para a MGC-383 causam no tempo de percurso para o trecho de 16,9 km (Segmento II), comparando-os.

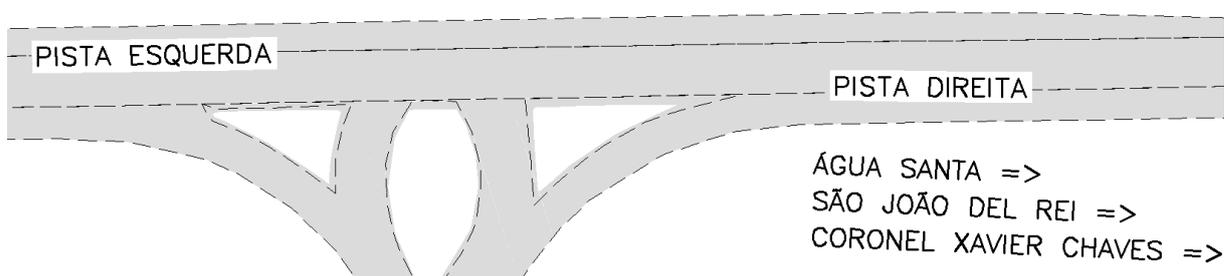
### 3.2 Distância de Visibilidade de Frenagem

Para a determinação da distância de visibilidade de frenagem desejável, por meio da Equação 4, foi empregado o dado de inclinação do greide de 6,36%, em declive, disponibilizado no projeto cedido pelo DER-MG (Anexo B), além dos valores determinados para a velocidade de projeto. Para o cálculo da distância de visibilidade de frenagem mínima, utilizou-se o mesmo valor de greide, porém foi utilizada a velocidade média, que é relacionada à velocidade de projeto, conforme apresentado na Tabela 3.

Com o objetivo de facilitar a apresentação dos dados, as pistas da rodovia foram divididas em dois lados: esquerdo e direito, conforme apresentado na Figura 12. O lado direito da via se refere à pista sentido São Brás do Suaçuí-São Joao del Rei, enquanto o lado esquerdo, refere-se ao inverso.

Figura 12: Definição dos lados das pistas.

<= PRADOS  
<= RESENDE COSTA  
<= LAGOA DOURADA



Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

### 3.3 Pontos de Divergência e Convergência

Com o projeto de levantamento da interseção disponibilizado pelo DER-MG em arquivo AutoCAD, pode-se aferir os comprimentos dos trechos de divergência e convergência presentes nos lados esquerdo e direito da MGC-383. Por meio da velocidade de projeto da via e da velocidade de projeto dos ramos da interseção determinadas previamente, compararam-se os dados aferidos no *software* com os valores recomendados pelo DNIT (Manual de Projeto de Interseções, 2005) do comprimento da faixa de desaceleração (Tabela 10) e da faixa de aceleração (Tabela 11).

Além disso, foi disponibilizado, também, o projeto original da interseção (DER-MG, 1984), que se encontra no Anexo A. Logo, pôde-se comparar o que foi executado com o que

foi planejado para o entroncamento, destacando os pontos em que houve mudanças e as consequências das mesmas.

### **3.4 Seção Transversal**

A seção transversal apresentada foi extraída da Memória Justificativa disponível no projeto cedido pelo DER-MG (Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração, Aumento de Capacidade, Implantação e Pavimentação, 2014). Foi analisada a seção-tipo da plataforma da rodovia, calculando a largura mínima necessária por meio da Equação 6, considerando um veículo de projeto de 2,60 m de largura e espaços de segurança de 0,5 m e comparando-a com os valores recomendados pelo DNER (Manual de projeto geométrico de rodovias rurais, 1999) apresentados na Tabela 8. Destacou-se, também, a largura dos acostamentos, baseando-se nos valores recomendados pelo DNER (Manual de projeto geométrico de rodovias rurais, 1999) apresentados na Tabela 9. A presença dos dispositivos de drenagem também foi destacada e comparada com os valores prescritos no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais DNER (Manual de projeto geométrico de rodovias rurais, 1999).

### **3.5 Levantamento fotográfico *in loco***

Além das análises realizadas por meio dos projetos disponíveis, foram feitas visitas no entroncamento, a fim de obter registros fotográficos para melhor apresentação dos elementos constituintes da via, obtendo uma maior compreensão dos problemas apresentados.

Foram realizadas três visitas à interseção. A primeira delas ocorreu no dia 10 de março de 2019, às 11 horas e 48 minutos, com o objetivo de realizar um levantamento inicial dos elementos constituintes da interseção. A segunda visita foi realizada no dia 15 de setembro de 2019, às 10 horas e 47 minutos, com o objetivo de fotografar, da melhor maneira possível, todos os elementos da interseção analisados neste trabalho. Foram escolhidos esses dias e horários, pois, por se tratar de um domingo, o fluxo de veículos na rodovia é menor, possibilitando uma maior segurança ao estacionar o carro e fotografar os elementos da interseção. A terceira visita ocorreu no dia 13 de outubro de 2019, às 15 horas e 40 minutos, com o objetivo de fotografar um ônibus estacionado na faixa de aceleração da interseção. Esse horário foi escolhido baseando-se nos quadros de itinerários das empresas de transporte de passageiros que circulam pela região e definindo qual seria o horário mais provável de encontrar um ônibus no trecho.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Classificação da Rodovia, Velocidade de Projeto e Nível de Serviço

A Tabela 12 apresenta os dados de VMDAT para o Segmento II da MGC-383. Para o ano de 2013, o valor do VMDAT encontrado foi de 4793 veículos/dia, enquanto para o ano previsto de 2022, o valor é igual a 6253 veículos/dia. Consultando as Classes de Projeto para rodovias, disponíveis na Tabela 1, o Segmento II pode ser classificado como Classe I-B, em pista simples, já que o VMDAT é maior que 1400 veículos/dia. O Relatório de Projeto (DER-MG, 2014) define o trecho em questão como região ondulada, logo, a velocidade de projeto é de 80 km/h. Conseqüentemente, tem-se definida a velocidade média de 70 km/h, segundo a Tabela 3, que relaciona a velocidade de projeto com a velocidade média.

Tabela 12: Volume de tráfego para classificação da rodovia.

Segmento II: Entroncamento para Resende Costa (km 91,1) – São Joao del Rei (km 108,0)							
Ano	Passeio + Utilitário		Ônibus		Carga		VMDAT
	Volume	%	Volume	%	Volume	%	
2013	3675	76,67	136	2,84	982	20,49	4793
2022	4795	76,68	177	2,83	1281	20,49	6253

Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

Os Níveis de Serviço disponibilizados no Relatório de Projeto (DER-MG, 2014) para os anos de 2013 e 2022 seguem apresentados na Tabela 13. Conforme a Tabela 4, que apresenta os critérios para definição do Nível de Serviço de uma rodovia, o Nível C caracteriza-se com um tempo de tráfego em pelotão da ordem entre 50% e 65% do tempo total de viagem e a velocidade média de viagem entre 70 km/h e 80 km/h. Ao cair para o Nível D, o tempo de tráfego em pelotão aumenta para a ordem de 60% a 80% do tempo total gasto na rodovia e a velocidade média de viagem fica entre 60 km/h e 70 km/h.

Tabela 13: Níveis de Serviço da MGC-383 para os anos de 2013 e 2022

Níveis de Serviço da rodovia MGC-383		
Segmento II: Entroncamento para Resende Costa (km 91,1) – São Joao del Rei (km 108,0)		
Ano	2013	2022
Nível de Serviço	C	D

Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

Para o Nível de Serviço C, considerando a velocidade média de viagem de 70 km/h e o trecho de 16,90 km, o tempo gasto de percurso é de 14,49 min, enquanto para um Nível de Serviço D, considerando uma velocidade média de viagem de 60 km/h, o tempo de percurso é de 16,90 min. Há um aumento no tempo gasto na rodovia da ordem de 16,67%, causada, principalmente, pelo crescimento do número de veículos, partindo de 4793 veículos/dia em 2013 para uma projeção de 6253 veículos/dia em 2022. Logo, levando em consideração um tempo gasto em pelotão de 80%, para o Nível de Serviço D, conforme apresentado na Tabela 4 (Critérios para definição do Nível de Serviço de uma rodovia), tem-se 13,52 min do tempo de percurso na rodovia gastos trafegando em pelotão. Isso representa um aumento de 43,59% se comparado com o tempo de percurso gasto em fila para o Nível de Serviço C. Logo, o decréscimo no Nível de Serviço de C para D, junto com o aumento do tempo em filas no Segmento II, podem acarretar, segundo a CNT (Pesquisa CNT de rodovias, 2019), em maiores custos operacionais, resultando em fretes mais caros para os veículos de carga, além de potencializar os acidentes com colisões frontais, visto que há um maior número de veículos circulando na via.

#### 4.2 Distância de Visibilidade de Frenagem

Utilizando os valores de velocidade de projeto de 80 km/h e velocidade média de 70 km/h, apresentados no Item 4.1, além da inclinação do greide de 6,36% em declive, foram obtidos os valores de distância de visibilidade de frenagem, apresentados na Tabela 14. O Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999) apresenta valores recomendados de Distância de Visibilidade de Frenagem Desejável e Mínima considerando os efeitos da rampa da rodovia sobre a frenagem. Para uma velocidade de 80 km/h e inclinação de -5% (máxima inclinação considerada na publicação), é recomendada uma distância de frenagem de 156,00 m. Para a velocidade de 70 km/h, a distância de frenagem mínima, tendo em vista a

inclinação de -5%, é de 125,00 m. Apesar do greide da MGC-383 à altura do km 101,20 possuir um declive de 6,36%, portanto maior que os valores apresentados no manual, os números apresentados na Tabela 14 de 161,13 m para uma distância de frenagem desejável e de 129,44 m para a distância de frenagem mínima se mostram plausíveis para as condições apresentadas, visto que, quanto maior for o declive do greide, maior será a distância de visibilidade de frenagem requerida pelos os veículos.

Tabela 14: Distâncias de Visibilidade de Frenagem calculadas

Distância de Visibilidade de Frenagem	
Desejável (V = 80 km/h)	161,13 m
Mínima (V = 70 km/h)	129,44 m

Fonte: Autor.

Porém, ao consultar a tabela de inclinação máxima de rampas em função da classe de projeto (Tabela 5), percebe-se que a inclinação adotada na interseção em análise não condiz com o recomendado pelo DNER (Manual de projeto geométrico de rodovias rurais, 1999). Para a classe prevista para a MGC-383, classe I-B e relevo ondulado, recomenda-se a adoção de uma rampa máxima de 4,5%, tanto para a cive quanto para o declive. Entretanto, encontra-se no projeto um declive de 6,36%. Caso fosse adotado o valor recomendado de 4,5%, as distâncias de frenagem desejável e mínima seriam reduzidas a, respectivamente, de 153,44 m e 123,55 m, uma redução de 4,77% e 4,54%, nessa ordem, de distâncias de frenagem no trecho. Além do mais, a adoção de rampas com inclinações maiores que o recomendado reduz a capacidade e o nível de serviço da rodovia, evidenciado, principalmente em rodovias de pistas simples, como é o caso da MGC-383, onde a inclinação da via pode afetar a capacidade de operação de veículos no tráfego, principalmente o de veículos pesados, que trafegam em baixa velocidade (CNT, 2019).

### 4.3 Interseção

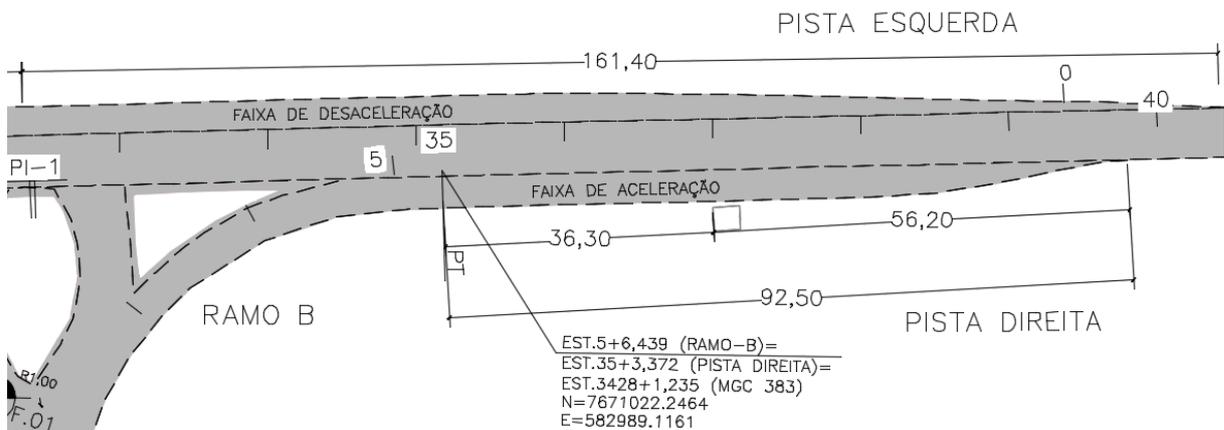
Feito o estudo de classificação da rodovia, determinação da velocidade diretriz e dos estudos de distância de visibilidade, parte-se, agora, para avaliação dos elementos constituintes do entroncamento entre a AMG-0415 e a MGC-383 (km 101,20). Serão mostradas as análises

dos trechos de divergência e convergência, além da seção transversal presente neste segmento da via.

### 4.3.1 Trechos de Divergência

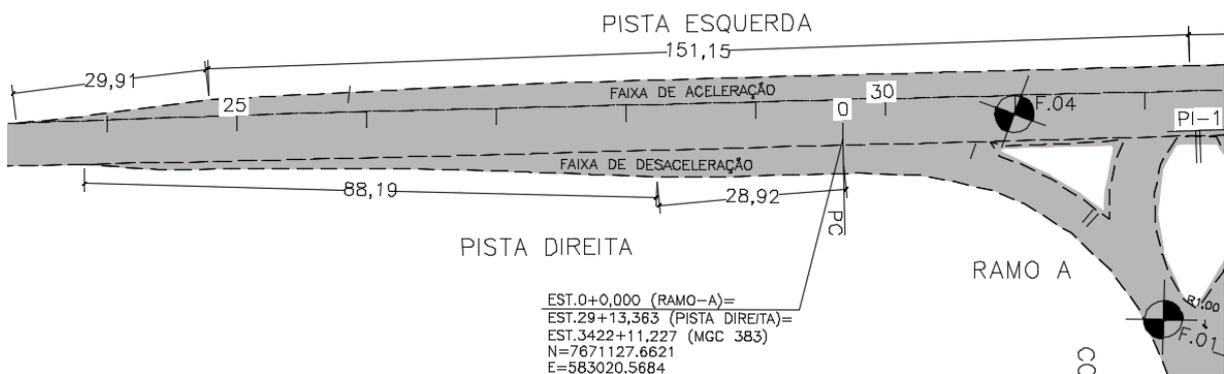
Com o projeto de levantamento da interseção disponível, foram retiradas as medidas para o trecho de divergência presente, no lado esquerdo da pista, conforme mostra a Figura 13, e no lado direito, como mostrado na Figura 14.

Figura 13: Medida da faixa de desaceleração da pista esquerda.



Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

Figura 14: Medida da faixa de desaceleração da pista direita.



Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

Conforme apresentado na Tabela 10, que trata dos comprimentos mínimos para as faixas de desaceleração, necessita-se do valor das velocidades diretrizes tanto da via principal, quanto dos ramos da interseção para a determinação dos valores mínimos que devem ser adotados. Como visto anteriormente, a velocidade de projeto da rodovia principal, a MGC-383, é de 80

km/h. Para os ramos do entroncamento, o projeto disponível não disponibiliza as informações a respeito da velocidade com a qual foram projetados. Portanto, considerou-se a velocidade diretriz recomendada por Pimenta *et al.* (Projeto Geométrico de Rodovias, 2017) de 30 km/h, visto que é um trecho com grandes pontos de conflito, em que os condutores necessitam de trafegar lentamente. Logo, segundo a Tabela 10, o comprimento mínimo da faixa de desaceleração é de 115,00 m. Como mostrado na Tabela 15, a faixa de desaceleração do lado esquerdo possui 161,40 m de comprimento, enquanto a do lado direito da via possui 117,11 m de extensão. São 46,40 m e 2,11 m de extensão a mais que o recomendado, representando 40,35% e 1,83%, de margem de folga, respectivamente. Essa maior margem, principalmente no lado esquerdo da via, possibilita que os motoristas executem as manobras com maior segurança e conforto, na interseção, além de possibilitar um triângulo de visibilidade suficiente para que os motoristas se avistem mutuamente, possibilitando tomadas de decisão a tempo de evitarem colisões.

Tabela 15: Comprimento dos trechos de divergência

Faixas de desaceleração	
Identificação	Comprimento (m)
Lado Esquerdo	161,40
Lado Direito	117,11

Fonte: Autor.

Contudo, como as faixas de desaceleração se tratam de faixas adicionais à pista para que os veículos realizem frenagens com o objetivo de executar manobras de conversão em uma interseção, as mesmas devem atender, também, aos valores de distância de visibilidade de frenagem calculados, dispostos na Tabela 14, visto que podem ocorrer situações que necessitem que os veículos necessitem realizar paradas. Logo, tem-se que a distância de visibilidade de frenagem desejável de 161,13 m é atendida somente pela faixa de desaceleração presente no lado esquerdo da pista, que possui 161,40 m de extensão, ou seja, 0,27 m a mais que o recomendado. Considerando a distância mínima de visibilidade de frenagem de 129,44 m, essa faixa de desaceleração possui 31,96 m a mais de extensão. Já a faixa de desaceleração do lado direito, apresentando 117,11 m de comprimento, possui 44,02 m a menos em relação a distância de visibilidade de frenagem desejável, e 12,33 m a menos em relação à mínima. Portanto, um

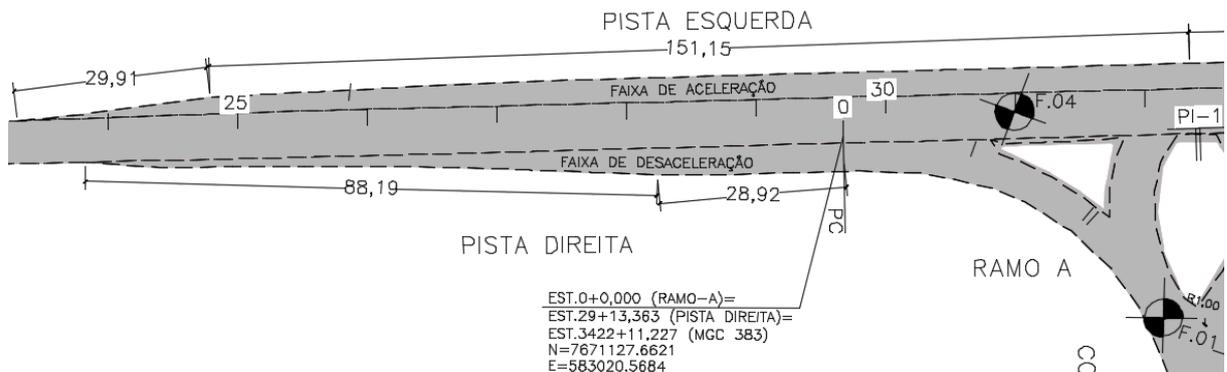
veículo, caso necessite realizar uma manobra de parada, ele não terá uma distância de frenagem suficiente para realizar tal ação com segurança e conforto.

Ao analisar o projeto original do entroncamento da AMG-0415 com a MGC-383 (km 101,20), presente no Anexo A, a faixa de desaceleração do lado esquerdo foi planejada com 160 m de extensão, ou seja, 1,40 m a menos do que realmente há, ao passo que a do lado direito foi planejada com 101,27 m, 15,84 m a menos do existente atualmente. Isso mostra que houve adequações do projeto original, principalmente do lado direito, para tentar enquadrar as faixas de desaceleração em sua extensão mínima exigida e na distância de visibilidade de frenagem. Contudo, apenas o lado esquerdo atendeu todas as exigências, ao passo que o lado direito possui deficiências na visibilidade de frenagem, não oferecendo conforto e segurança, em sua totalidade, para seus usuários.

#### 4.3.2 Trechos de Convergência

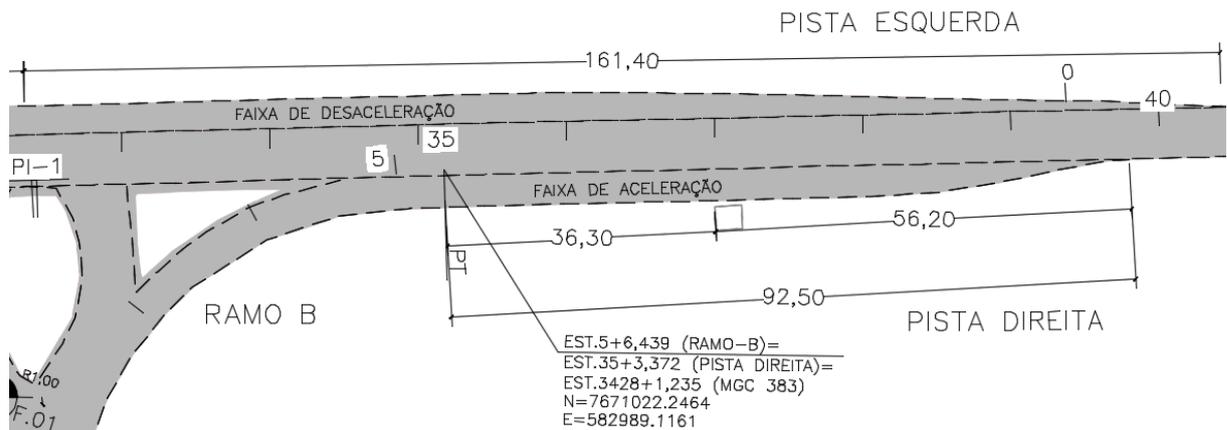
A medida aferida para a faixa de aceleração da pista do lado esquerdo da via está exposta na Figura 15, enquanto para a pista do lado direito está exposta na Figura 16.

Figura 15: Medida da faixa de aceleração da pista esquerda.



Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

Figura 16: Medida da faixa de aceleração da pista direita.



Fonte: (DER-MG, 2014), adaptado.

Utilizando a velocidade de projeto de 80 km/h e a velocidade de projeto nos ramos da interseção de 30 km/h, assim como empregado no item anterior, o comprimento mínimo para a faixa de aceleração, conforme disposto na Tabela 11, é de 200,00 m. De acordo com os valores apresentados na Tabela 16, o lado esquerdo da pista possui extensão de 181,06 m, 18,94 m a menos que o mínimo, ao passo que o lado direito possui 92,50 m de comprimento, 107,50 m menor que o recomendado. Logo, ambas as faixas de aceleração não possuem comprimento satisfatório, já que são, respectivamente, 9,47% e 53,47% menores que a extensão recomendada pelo DNER (Manual de projeto geométrico de rodovias rurais, 1999). Com isso, o motorista não tem espaço suficiente para realizar a retomada de velocidade compatível com a via principal. Por consequência, veículos que já trafegam na rodovia podem ser obrigados a acionarem os freios para se adequarem aos carros que estão à frente, saindo da interseção, e ainda não adquiriram a velocidade necessária, implicando, também, na distância de visibilidade de frenagem, que só é atendida na faixa de aceleração do lado esquerdo, que é 19,93 m maior que a distância desejável e 51,62 m mais extensa que a distância mínima. Já a faixa de aceleração da pista a direita possui uma distância de visibilidade de frenagem 68,63 m menor que a desejável e 36,94 m menor que a mínima. Ou seja, a faixa de aceleração da pista a direita não atende nem ao comprimento mínimo disposto na Tabela 11, e muito menos à distância de visibilidade de frenagem, tornando-a um ponto bastante crítico da interseção. Analisando o projeto original da interseção, presente no Anexo A, a faixa de aceleração do lado esquerdo da pista foi planejada com 180,00 m de extensão, ante a 181,06 m que há atualmente, ou seja, difere-se apenas 1,06 m. Ao passo que a faixa de aceleração do lado direito foi planejada com 161,27 m, porém o trecho possui 92,50 m de extensão, ou seja, uma diferença de 68,77 m, cerca de 57,36% a menos. Logo, apesar do projeto original não atender as recomendações de extensão

mínima da faixa de aceleração, o mesmo previa, ao menos o atendimento da distância mínima de visibilidade de frenagem nas duas faixas.

Tabela 16: Comprimento dos trechos de convergência

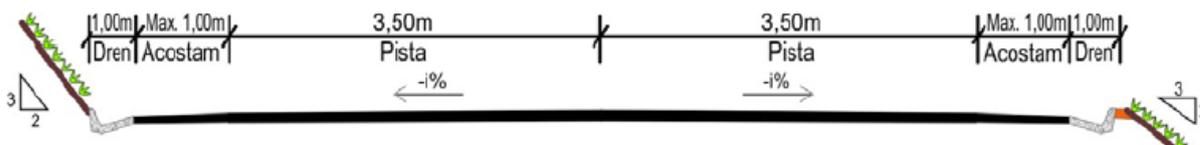
Faixas de aceleração	
Identificação	Comprimento (m)
Lado Esquerdo	181,06
Lado Direito	92,50

Fonte: Autor.

### 4.3.3 Seção Transversal

Objetivando-se uma análise completa da interseção, fez-se, ainda, uma análise da seção transversal do projeto. A Figura 17, representa a plataforma da pista implantada atualmente, na MGC-383, onde os veículos trafegam diariamente. Pode-se perceber que a plataforma atual possui, no máximo 11,00 metros. Nela, são distribuídas duas faixas de rolamento com 3,50 m de largura, acostamentos máximos de 1,00 m e largura para dispositivos de drenagem com aproximadamente 1,00 m, também.

Figura 17: Seção transversal típica para a MGC-383, atualmente.



Fonte: (DER-MG, 2014)

Calculou-se a largura mínima da faixa de rolamento como 3,60 m, portanto, estando em conformidade com a largura das faixas de rolamento recomendadas pelo DNER (Manual de projeto geométrico de rodovias rurais, 1999), como pode ser consultado na Tabela 8. Porém, como a pista possui somente 3,50 m de largura, os espaços de segurança dispõem de 0,45 m, ante o valor recomendado de 0,50 m. Logo, essa largura de 3,50 m mostra-se insuficiente para promover conforto e segurança para os usuários da via, que, desse modo, tendem a trafegar nela com velocidades menores que a de projeto, implicando em limitações da capacidade de tráfego, afetando o nível de serviço da rodovia, já que são executadas menores velocidades (CNT, 2019), aumentando o tempo de percurso.

As larguras recomendadas para os acostamentos, apresentadas na Tabela 9, também são dadas em função da classe da via. Para a MGC-383, a largura mínima recomendada é de 2,50 m, contudo, quando existentes, os acostamentos da via em questão são de no máximo 1,0 m, segundo o projeto disponível (DER-MG, 2014). Logo, a falta deles ou a pequena largura destinada para tal, afeta significativamente a segurança para seus usuários, já que esse espaço pode atuar como uma área de manobra e escape, podendo auxiliar veículos desgovernados a retomarem a direção, e, também, servir ao tráfego provisório de veículos em casos de emergência. Além disso, contribuem para a proteção da estrutura do pavimento contra a erosão e para a circulação de pedestres e ciclistas (CNT, 2019).

A menor largura nesses dois elementos pode ser explicada por diversos fatores. Uma hipótese seria o contingenciamento de custos para a realização da obra, já que quanto maior for a plataforma da via, maiores são as movimentações de solo necessárias para adequar a geometria da via. Diminuindo-se a largura da faixa de rolamento e do acostamento, contribui significativamente para a execução de uma obra mais barata, em detrimento, logicamente, da segurança e conforto dos usuários.

Já os dispositivos de drenagem possuem a largura recomendada por Pimenta *et al.* (Projeto Geométrico de Rodovias, 2017), que é de 1,00 m, sendo o único elemento da seção transversal que atende os requisitos mínimos. A presença desses dispositivos ajuda na conservação da estrutura do pavimento, devendo permitir o escoamento eficiente das águas provenientes das chuvas (CNT, 2019).

#### **4.3.4 Levantamento fotográfico *in loco***

A Figura 18 mostra uma visão geral do entroncamento entre as rodovias AMG-0415 e a MGC-383. Nela, pode-se notar, em primeiro plano, a faixa de desaceleração do lado esquerdo e o ramo B da interseção. Mais ao fundo, pode-se notar a faixa de desaceleração do lado direito da via e a faixa de aceleração do lado esquerdo. Analisando a fotografia, verifica-se a ausência de acostamento em todos os elementos do entroncamento, logo, a segurança dos usuários da rodovia é afetada diretamente, já que não possuem um local adequado para estacionarem seus veículos em emergência, ou mesmo realizarem manobras de segurança para evitarem acidentes, sendo obrigados a realizarem tais ocorrências nas faixas de aceleração ou desaceleração.

Figura 18: Visão geral do entroncamento



Fonte: Autor.

A Figura 19 retrata a consequência da ausência de acostamento na interseção. Nela, nota-se um caminhão estacionado na faixa de desaceleração do lado direito da MGC-383, como não há um acostamento para realizar tal ação, o motorista se viu obrigado a estacioná-lo nesta faixa da interseção. Como discutido no Item 4.3.1, essa faixa de desaceleração não atende às distâncias de visibilidade de frenagem desejável e mínima, contendo, apenas, 117,11 m de extensão. Ao estacionar neste local, o caminhão diminui o tamanho disponível da faixa, visto que, quem desejar entrar na interseção terá que realizar a manobra à frente do caminhão. Por consequência, a distância de visibilidade de frenagem que o motorista tem disponível é ainda menor do que a que ele possuiria caso não houvesse o veículo estacionado naquele local. Outra consequência que poderia ocasionar, estando parado neste local, seria o de lentidão na via principal, já que os motoristas que desejarem adentrar à interseção, ao notarem um veículo estacionado na faixa de desaceleração, podem acionar os freios na rodovia, podendo ocasionar lentidão na interseção, por decorrência, podem ocorrer formação de pelotões na rodovia, ocasionando uma diminuição do nível de serviço da mesma.

Figura 19: Caminhão estacionado na faixa de desaceleração, lado direito.



Fonte: Autor.

Outra situação levantada nos registros fotográficos foi a presença de uma parada de ônibus presente no trecho de aceleração do lado direito da pista, conforme a Figura 20. Devido à falta de acostamento, instalou-se uma guarita de ônibus nesta faixa, logo, ao pararem para embarque ou desembarque de passageiros, a faixa de aceleração disponível para os veículos que desejam entrar na MGC-383 é diminuída, por consequência, os motoristas não conseguem atingir uma velocidade compatível com a rodovia. Por se tratar de um trecho com aclive de 6,36%, a retomada de velocidade é dificultada ainda mais, portanto, pode-se ocorrer a formação de pelotões de veículos, ocasionados, principalmente pelos mais pesados que saem da interseção em direção à via principal, ocasionando uma lentidão e uma diminuição do nível de serviço da via.

Figura 20: Ônibus parado na faixa de aceleração, lado direito.



Fonte: Autor.

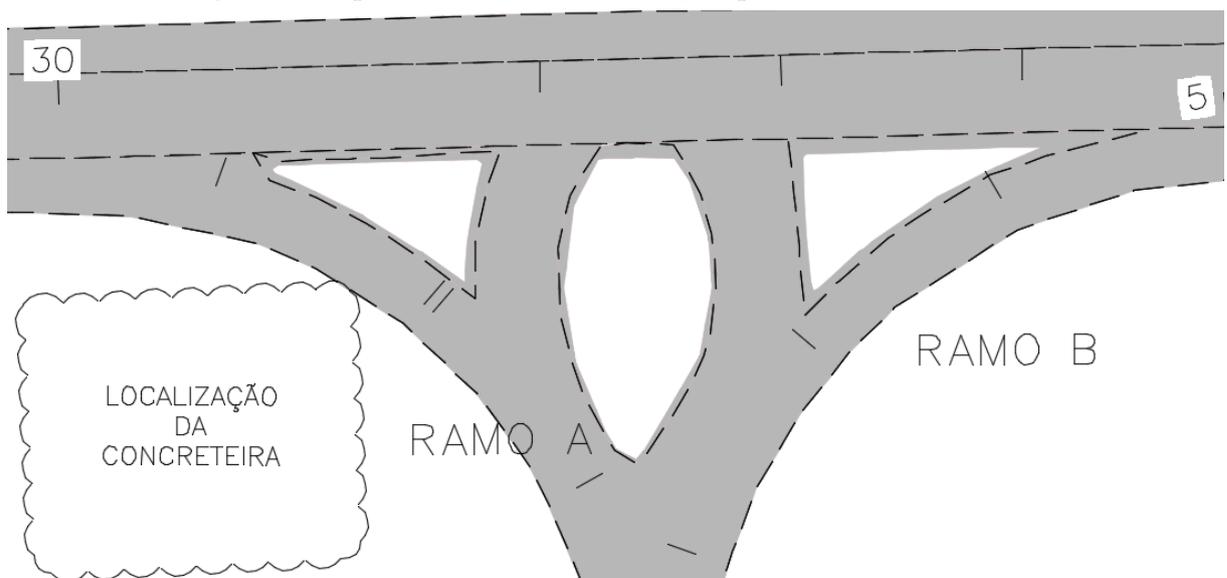
Além dos problemas relacionados à ausência de acostamento, tem-se, também, a presença de uma entrada para uma fábrica de concretos, no ramo A da interseção, como mostra a Figura 21 e a Figura 22. Essa entrada, por se encontrar justamente na curva, não respeita a distância mínima de visibilidade de frenagem, logo, o triângulo de visibilidade não é atendido, como recomendado por Pimenta *et. al* (Projeto Geométrico de Rodovias, 2017). Portanto, o ramo A da interseção se torna um potencial local para ocorrência de acidentes, visto que o veículo que deseja entrar na interseção em direção a Coronel Xavier Chaves ou o veículo que deseja sair da fábrica de concretos podem não se enxergar mutuamente, ocasionando uma colisão.

Figura 21: Localização da entrada para a fábrica de concretos.



Fonte: Autor.

Figura 22: Esquema mostrando a localização aproximada da concreteira.



Fonte: Autor.

## 5. CONCLUSÃO

A atual configuração da interseção entre a AMG-0415 e a MGC-383, conforme discutido, não atende a todos os requisitos normativos propostos pelo Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) e pelo Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005). Nota-se, principalmente, no lado direito do entroncamento, uma deficiência na visibilidade nos pontos de conflito, tanto de divergência, quanto de convergência, muito em função do tamanho insuficiente dos trechos de desaceleração e aceleração presentes. Logo, é comprometido o triângulo de visibilidade, sendo que há a possibilidade de que os motoristas que trafegam na interseção não se enxerguem mutuamente, aumentando o risco de colisões.

A falta de acostamentos no trecho, a faixa de rolamento com tamanho menor que o recomendado e o fato de haver uma inclinação do greide maior que o previsto para a classe de projeto da rodovia também são pontos críticos presentes na interseção, colocando em risco a segurança dos usuários da rodovia e comprometem o desempenho operacional da mesma, diminuindo seu nível de serviço.

Além desses fatores de projeto, há ainda, na interseção, elementos que não foram previstos em sua elaboração, conforme mostrado nas fotografias realizadas em campo, como o ponto de parada de ônibus e a entrada para a fábrica de concretos, elevando, ainda mais, os problemas presentes na mesma.

Portanto, o entroncamento é considerado inadequado para o Nível de Serviço e Classe propostos para a rodovia, sendo necessárias adequações para transformá-lo mais seguro e confortável para os usuários da via. Uma adequação necessária seria a adaptação à canalização do tráfego, com construção de dispositivos que fizessem a separação dos pontos de conflito e estimulem os veículos que desejam entrar na interseção a reduzirem a velocidade, além de proporcionarem os cruzamentos em um ângulo próximo a 90°. Juntamente com essas medidas, as faixas de desaceleração e aceleração que não possuem comprimento satisfatório deveriam ser modificadas, para atendê-los. Outra medida que poderia ser adotada é a de redução da velocidade de projeto na via, por meio de dispositivos redutores de velocidade. Com a diminuição desse valor, tem-se reduzidos, também, os valores de distância de visibilidade de frenagem, bem como os comprimentos recomendados para as faixas de desaceleração e aceleração, adequando-os às faixas já construídas, em detrimento do Nível de Serviço que, inevitavelmente, irá diminuir, visto que o fluxo de veículos irá aumentar até o ano de 2022, provocando, neste trecho, uma perda da capacidade da via.

## REFERÊNCIAS

AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC. 2011.

BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro, Brasília, 23 Setembro 1997. Disponível em: <<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91797/codigo-de-transito-brasileiro-lei-9503-97#art-33>>. Acesso em: 23 Outubro 2019.

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias**. Confederação Nacional do Transporte. Brasília. 2019.

COELHO, A. H.; GOLDNER, L. G. **ECV5129 - Engenharia de Tráfego: Módulo I Conceitos Básicos**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Civil, 2016.

CORONEL XAVIER CHAVES. História da Cidade. **Prefeitura Municipal de Coronel Xavier Chaves**, 2019. Disponível em: <<http://coronelxavierchaves.mg.gov.br/prefeitura/historia-da-cidade/>>. Acesso em: 28 Setembro 2019.

DER-MG. **Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais**. Coronel Xavier Chaves. 1984.

DER-MG. Rodovias Estaduais de Acesso. **Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais**, 18 Novembro 2011. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20130731201922/http://www.der.mg.gov.br/component/content/article/191>>. Acesso em: 29 Setembro 2019.

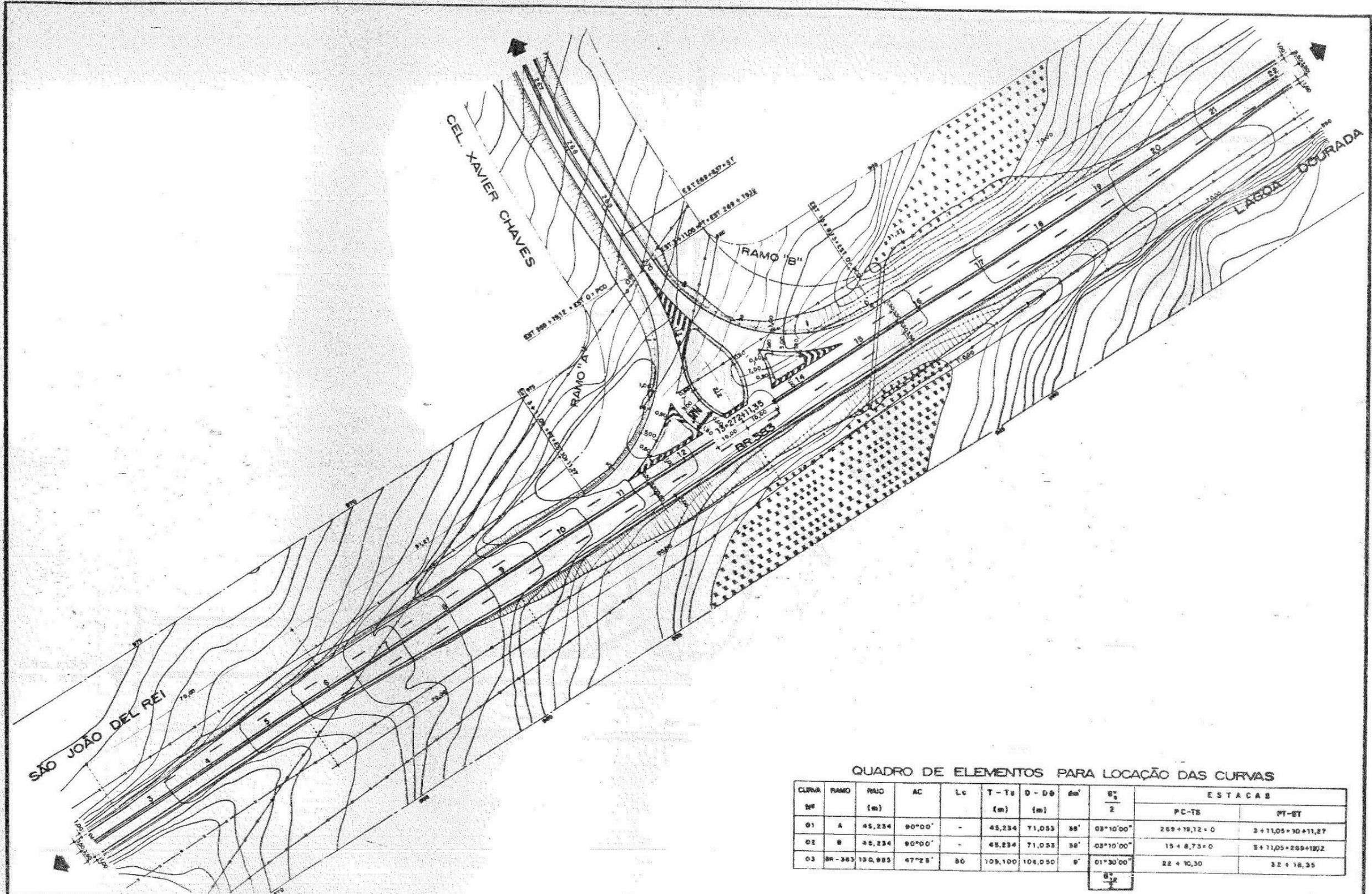
DER-MG. **Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração, Aumento de Capacidade, Implantação e Pavimentação**. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014. (Volume 1).

DER-MG. **Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração, Aumento de Capacidade, Implantação e Pavimentação**. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014. (Volume 3).

DER-MG. **Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração, Aumento de Capacidade, Implantação e Pavimentação**. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2014. (Volume 2).

- DNER. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro. 1999. (Publicação IPR - 706).
- DNIT. **Manual de Projeto de Interseções**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2005. (Publicação IPR - 718).
- DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2006. (Publicação IPR - 723).
- DNIT. **Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. [S.l.]. 2007.
- ESPECIAL REPORT. **Highway Capacity Manual**. Washington, DC: Transportation Research Board - TRB, 2000.
- FILHO, G. P. **Estradas de Rodagem Projeto Geométrico**. São Carlos: Bidim, 1998.
- GOOGLE. Google Earth. **Google Earth**, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>>. Acesso em: 9 Setembro 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/coronel-xavier-chaves/panorama>>. Acesso em: 28 Setembro 2019.
- LEE, S. H. **Projeto Geométrico de Estradas**. Florianópolis: [s.n.], 2000.
- NRC. **Highway Capacity Manual: Especial Report 87**. National Research Council. Washington, D.C. 1965.
- PEREIRA, D. M. et al. **Projeto Geométrico de Rodovias**. [S.l.]: Universidade Federal do Paraná, 2010.
- PIETRANTONIO, H. **Manual de Procedimento de Pesquisa para Análise de Tráfego em Interseções**. [S.l.]: Seção de Engenharia de Tráfego e Transporte de Passageiros - IPT, 1991.
- PIMENTA, C. R. T. et al. **Projeto Geométrico de Rodovias**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- SENÇO, W. D. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. São Paulo: PINI, 2008. ISBN 978-85-7266-197-3.

**ANEXO A – Projeto original do Entroncamento**



QUADRO DE ELEMENTOS PARA LOCAÇÃO DAS CURVAS

CURVA Nº	RAMO	RAIO (m)	AC	Lc	T - Ts (m)	D - D0 (m)	S	G <sub>2</sub>	ESTACAS	
									PC-TS	PT-ST
01	A	45,234	90°00'	-	45,234	71,053	35'	03°10'00"	269 + 19,12 + 0	3 + 11,05 + 10 + 11,27
02	B	45,234	90°00'	-	45,234	71,053	35'	03°10'00"	15 + 8,73 + 0	3 + 11,05 + 269 + 19,12
03	BR-363	130,983	47°25'	50	109,100	108,050	9'	01°30'00"	22 + 10,30	32 + 16,35

ESCALA  
 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 120  
 METROS

GRÁFICA

**OBSERVAÇÕES**

- Manter a curva existente de raio de torção de projeto de BR 363
- Remoção e cerco do lado interno de BR 363, na proximidade dos Ramos "A" e "B" Conforme indicação desta PLANTA.
- Dimensionamento das faixas de manobra de velocidade DEPER - Classe II faixa para intenso, velocidade máxima de BR 363 80 km/h

DIRETORIA DE PROJETOS - GRUPO DE PROJETOS I

DESENHISTA: *[Assinatura]*  
 AS LOPEZ  
 VERIFICADORA: *[Assinatura]*  
 ENAT CHAVES DO DEPT  
 DATA: 20/11/64



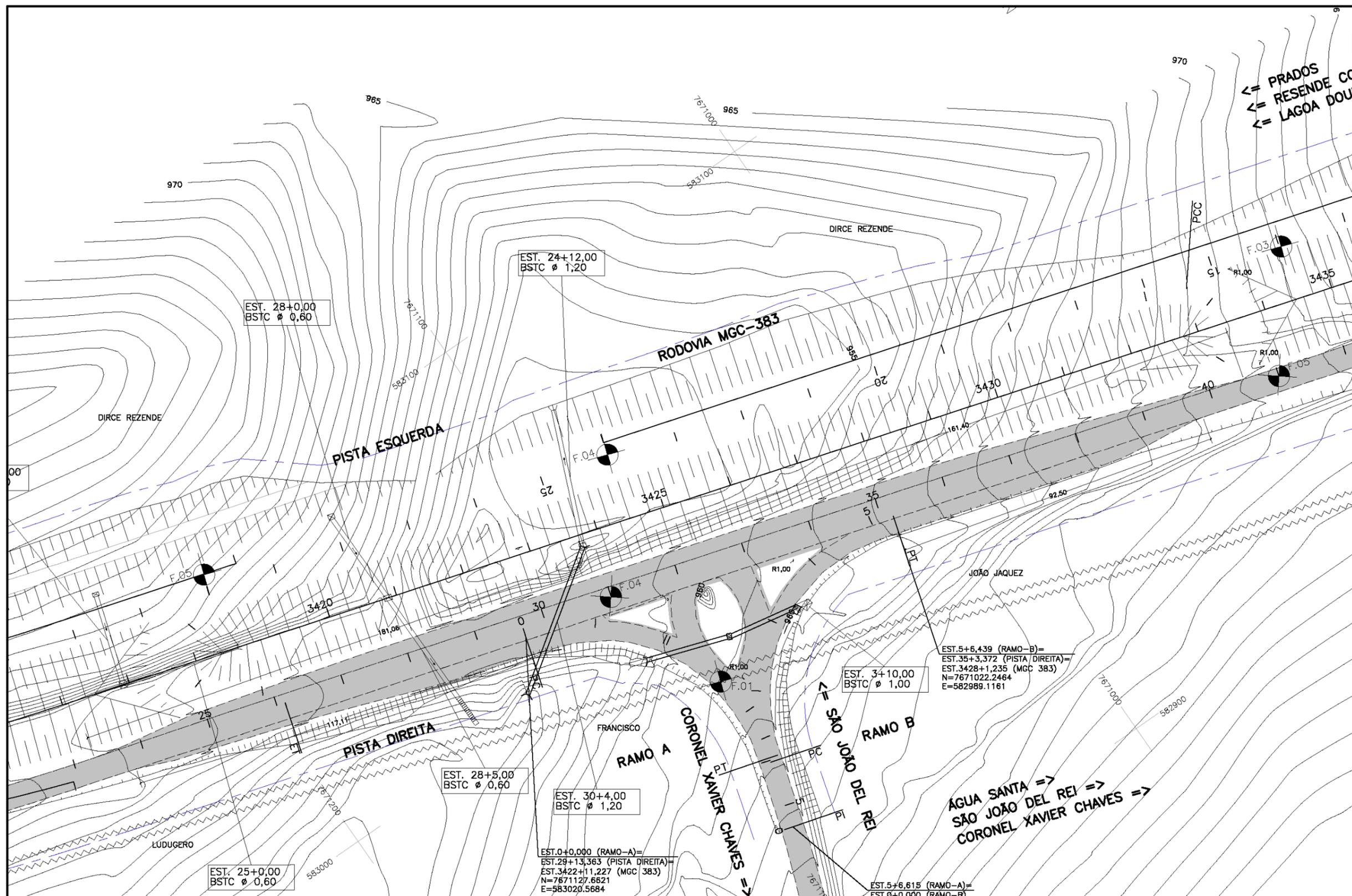
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM  
 DO ESTADO DE MINAS GERAIS

RODOVIA LIGAÇÃO TRECHO: CEL. XAVIER CHAVES - ENTRONC. BR 363

PROJETO DE INTERSEÇÃO  
 ENTRONCAMENTO BR 363 / ACESSO CEL. XAVIER CHAVES

FOLHA  
 IT - 01

**ANEXO B – Projeto de levantamento da rodovia existente**



ESCALAS GRÁFICAS:



OBSERVAÇÕES:

NOTAS:  
1 - MEDIDAS EM METRO.

DIRETORIA DE PROJETOS

ENG.* COORDENADOR:	RESPONSÁVEL TÉCNICO:	DESENHO:	ESCALA: H=1:1000
ENG.* PROJETISTA:	DESENHISTA:	VERIFICADO:	APROVADO:
			Eng.* Fiscal - CREA/MG Eng.* Diretor da DP

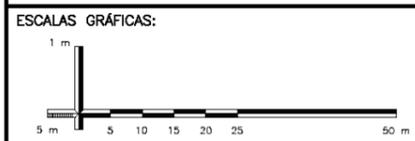
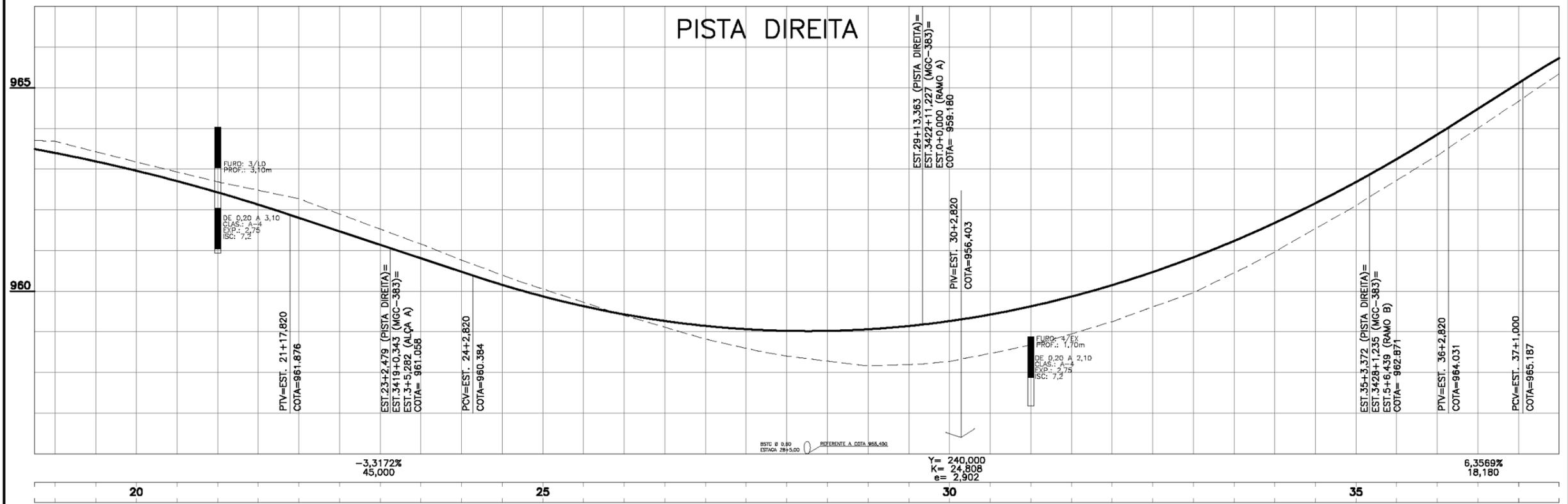
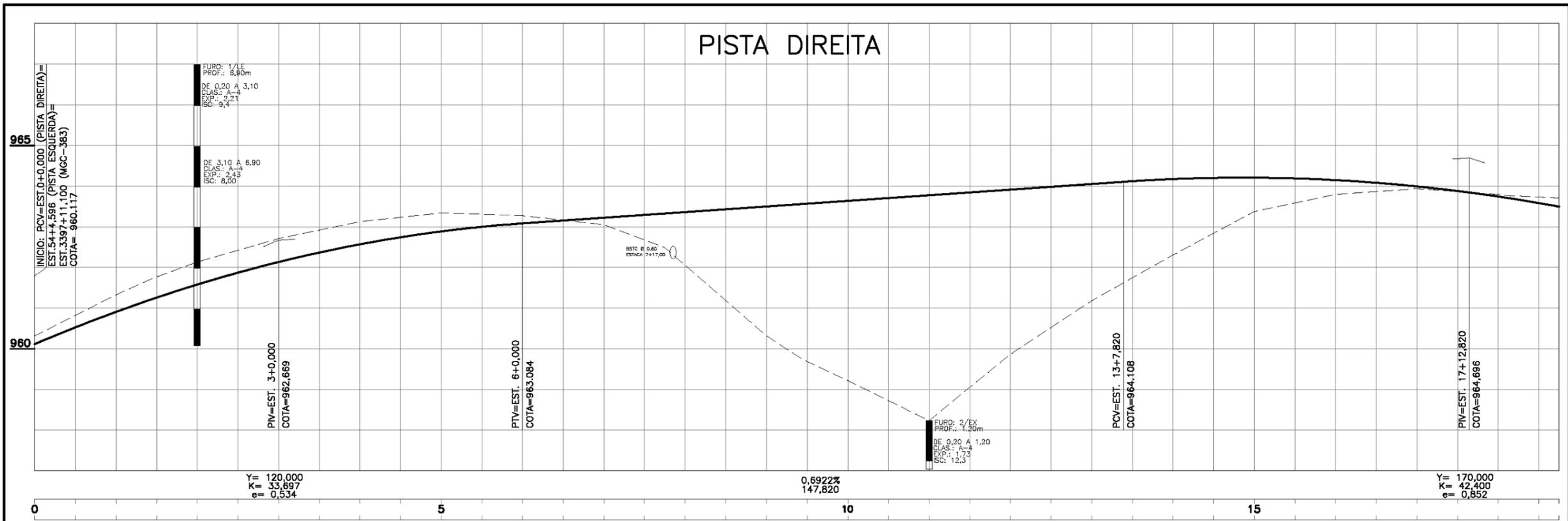


DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS

RODOVIA: MGC-383 EXTENSÃO: 82,0 km  
TRECHO: SÃO BRÁS DO SUAQUI A SÃO JOÃO DEL-REI E CONTORNOS DE LAGOA DOURADA E SÃO JOÃO DEL-REI

PROJETO DE INTERSEÇÃO  
ACESSO A CORONEL XAVIER CHAVES - PLANTA

FOLHA:  
IT-107



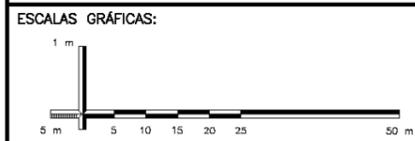
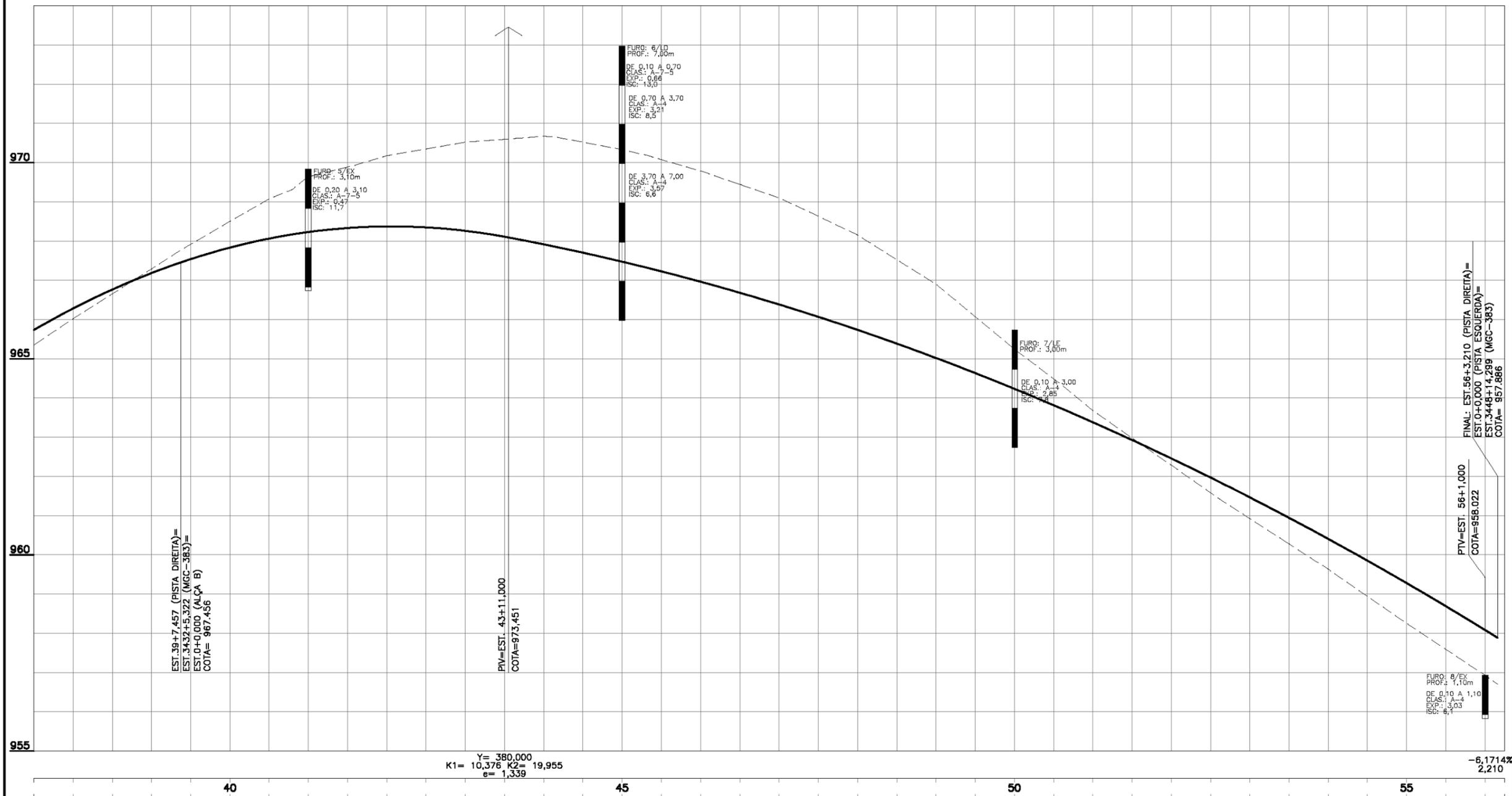
OBSERVAÇÕES:

DIRETORIA DE PROJETOS	
ENG.* COORDENADOR:	RESPONSÁVEL TÉCNICO:
ENG.* PROJETAISTA:	DESENHISTA:
DESENHO:	ESCALA: H=1:1000, V=1:100
VERIFICADO:	APROVADO:
	Eng* Fiscal - CREA/MG
	Eng* Diretor de DP



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
RODOVIA: MGC-383	EXTENSÃO: 82,0 km
TRECHO: SÃO BRÁS DO SUAQUI A SÃO JOÃO DEL-REI E CONTORNOS DE LAÇO DOURADA E SÃO JOÃO DEL-REI	
<b>PROJETO DE INTERSEÇÃO</b>	
ACESSO A CORONEL XAVIER CHAVES - GREIDE-PD	
FOLHA:	IT-110

### PISTA DIREITA



OBSERVAÇÕES:

DIRETORIA DE PROJETOS	
ENG.* COORDENADOR:	RESPONSÁVEL TÉCNICO:
ENG.* PROJETISTA:	DESENHISTA:
DESENHO:	ESCALA: H=1:1000 V=1:100
VERIFICADO:	APROVADO:
Eng* Fiscal - CREA/MG	
Eng* Diretor da DP	



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS		EXTENSÃO: 82,0 km
RODOVIA: MGC-383	SÃO BRÁS DO SUAQUI A SÃO JOÃO DEL-REI E CONTOURNOS DE LAÇOÁ DOURADA E SÃO JOÃO DEL-REI	
PROJETO DE INTERSEÇÃO		
ACESSO A CORONEL XAVIER CHAVES - GREIDE-PD		FOLHA: IT-111