



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Redeenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Randal Silva Gomes

**ESTUDO COMPARATIVO DO TRAÇADO HORIZONTAL
GEOMÉTRICO, PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA RODOVIA
LIGANDO A BR-153/TO (KM-497) ATÉ A TO-080 (KM-50)**

**Palmas
2015**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Redeenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Randal Silva Gomes

**ESTUDO COMPARATIVO DO TRAÇADO HORIZONTAL
GEOMÉTRICO, PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA RODOVIA
LIGANDO A BR-153/TO (KM-497) ATÉ A TO-080 (KM-50)**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Euzir Pinto Chagas

**Palmas
2015**

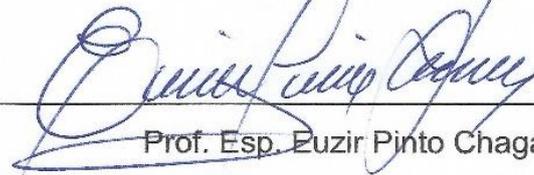
Randal Silva Gomes

ESTUDO COMPARATIVO DO TRAÇADO HORIZONTAL
GEOMÉTRICO, PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA RODOVIA LIGANDO
A BR-153/TO (KM-497) ATÉ A TO-080 (KM-50)

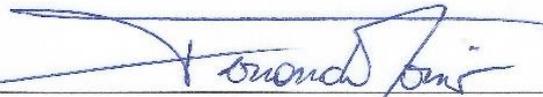
Projeto apresentado como requisito
parcial da disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso II (TCC) do curso de
Engenharia Civil, orientado pelo Professor
Especialista Euzir Pinto Chagas

Aprovada em 14, NOVEMBRO de 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Msc. César Augusto Matos
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas
2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos nunca me deixando sozinho, e é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, Adalberto e Raimunda, pelo o amor, carinho, determinação e luta na minha formação, que durante toda a minha vida estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando-me a buscar meus objetivos, sem vocês eu não seria nada, essa vitória é nossa.

Ao meu irmão e amigo Rafael, que me apoiou, incentivou e motivou nos momentos difíceis. A minha cunhada Fabiola que ao lado do meu irmão me incentivou a seguir em frente. Ao meu sobrinho Rian, que veio para alegrar nossas vidas, e me fazendo sorrir nos feriados.

A todos os meus familiares em geral, especialmente a família do tio Valdir e tia Val, que me ajudou direta e indiretamente no processo desta caminhada.

A minha namorada Isabela, que no final do curso foi de fundamental importância, por toda a sua dedicação, apoio, incentivo e principalmente paciência aguentando meus momentos de estresses e mal humor, obrigado por permanecer ao meu lado.

Aos Mestres e Professores do curso de Engenharia Civil que conheci no CEULP/ULBRA, enriqueceram meu intelecto, dividindo comigo seus conhecimentos e experiências. Ao meu orientador professor Euzir, pelo seu suporte, apoio e confiança para o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos colegas que conheci durante a formação acadêmica, que se tornaram amigos, pelas as madrugadas e feriados de estudos, sempre ajudando um ao outro, contribuindo para a minha formação.

Todas as palavras não seriam suficientes para agradecer a todas as pessoas que me ajudou nessa caminhada. Em uma página também não caberia contar tudo o que me fortaleceu para que este trabalho existisse. Obrigado a todos que me ajudaram direta e indiretamente para a realização da minha formação acadêmica.

GOMES, R. S. **ESTUDO COMPARATIVO DO TRAÇADO HORIZONTAL GEOMÉTRICO, PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA RODOVIA LIGANDO A BR-153/TO (KM-497) ATÉ A TO-080 (KM-50)**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil, Palmas/TO.

RESUMO

O projeto geométrico é o componente primordial do projeto de rodovias que observa as distintas características geométricas do traçado em atribuição das leis do movimento, do comportamento dos motoristas, das características de operação dos veículos e do tráfego, de modo assegurar uma rodovia segura, confortável, eficiente, com o custo mais viável possível. A abertura de uma nova rodovia possibilita o escoamento da produção, a circulação de cargas e passageiros.

Este trabalho apresenta um estudo comparativo de um traçado horizontal para o desenvolvimento do projeto geométrico rodoviário ligando a BR-153/TO até a TO-080, utilizando uma topografia preliminar da região de Paraíso do Tocantins/TO. Com objetivo de determinar uma melhor alternativa para o traçado garantindo conforto estabilidade e segurança os motoristas.

Seguindo as recomendações, manuais e normativas do DNIT realiza o processo de desenvolvimento do projeto horizontal geométrico, iniciando com um roteiro de cálculo dos elementos preciso para o projeto. E por fim apresentando o projeto geométrico horizontal finalizado, com todos os seus elementos, estaqueamentos e informações exigidos pelo o DNIT.

Palavras-chave: Projeto geométrico. Rodovia. Traçado horizontal.

GOMES, R. S. **COMPARATIVE STUDY OF THE HORIZONTAL GEOMETRIC OUTLINE, FOR THE IMPLEMENTATION OF A HIGHWAY LINKING THE BR-153/TO (KM-497) TO THE TO-080 (KM-50)**. 2015. Project course conclusion (Bachelor of Engineering Civil). Lutheran University Center of Palmas/Lutheran University of Brazil, Palmas/TO.

ABSTRACT

The geometric project is the primary component of the highways project, notes that the different geometric characteristics of outline in allocating the laws of motion, the behavior of drivers, the operating characteristics of the vehicle and traffic, so as to ensure safe highway, comfortable, efficient, with the most affordable cost possible. Opening a new highway makes possible the flow of production, the movement of cargo and passengers.

This paper presents a comparative study of the horizontal geometric outline for the development of a highway linking the BR-153/TO to the TO-080, using a preliminary topography of the region of Paraíso of Tocantins/TO. With the objective of determine a better alternative to the outline ensuring, comfort, stability and security to motorists. Following the recommendations, manuals and regulations of the DNIT performs the process of developing the horizontal geometric project, starting with a script calculation of precise elements for the project. And finally presenting the finished horizontal geometric project, with all its elements, staking and information required by the DNIT.

Keywords: Geometric project. Highway. horizontal outline.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Justificativa e Importância do Trabalho	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1. História de projeto executivo de engenharia rodoviária	4
2.2. Estudos para elaboração de uma rodovia	6
2.3. Projeto geométrico de rodovias	7
2.4. Classificação das rodovias	8
2.5. Velocidade de projeto.....	9
2.6. Veículos de projeto.....	10
2.7. Elementos de projeto geométrico de rodovias	11
2.7.1. Elementos planimétricos de uma rodovia	11
2.8. Curvas horizontais circulares.....	13
2.8.1. Curvas horizontais circulares sem transição	13
2.8.2. Curvas horizontais circulares com transição:	17
2.8.3. Superelevação	21
2.8.4. Superlargura	23
3. METODOLOGIA	24
3.1. Pesquisa bibliográfica.....	24
3.2. Localização da área para o traçado do projeto	24
3.3. Reconhecimento para traçado.....	25
3.4. Fases do reconhecimento.....	25
3.4.1. Coleta de dados sobre a região.....	25
3.4.2. Observação do terreno	28
3.5. Traçado horizontal geométrico.....	30
3.5.1. Escolha do traçado.....	30
3.5.2. Procedimento dos cálculos	34

3.5.3. Desenho do projeto horizontal	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1. Definição do traçado horizontal geométrico	43
4.2. Classificação da rodovia	44
4.3. Velocidade de projeto.....	44
4.4. Veículos de projeto	44
4.5. Raio mínimo de curva horizontal.....	45
4.6. Cálculos das curvas horizontais	45
4.6.1. Primeira curva.....	45
4.6.2. Segunda curva.....	47
4.6.3. Terceira curva	49
4.6.4. Quarta curva	51
4.6.5. Quinta curva.....	53
4.6.6. Sexta curva	55
4.6.7. Ponto final	57
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Via Ápia em Roma	5
Figura 2 - Elementos geométricos de uma estrada.....	11
Figura 3 - Eixo de um trecho de estrada de rodagem	12
Figura 4 - Concordâncias horizontais compostas.....	13
Figura 5 - Geometria da curva circular	14
Figura 6 - Curva de concordância horizontal composta com transição simétrica.....	17
Figura 7 - Problema de invasão da faixa adjacente nas curvas simples	18
Figura 8 - Imagem da localização da área	24
Figura 9 - Imagem de satélite do local	25
Figura 10 – <i>Software Qgis</i> processando a topografia preliminar.....	27
Figura 11 – Topografia preliminar	27
Figura 12 - Ponto inicial do traçado.....	28
Figura 13 - Ponto final do traçado	29
Figura 14 - Traçado horizontal 1º alternativa.....	30
Figura 15 - Perfil Longitudinal da 1º alternativa.....	31
Figura 16 - Traçado horizontal 2º alternativa	31
Figura 17 - Perfil Longitudinal da 2º alternativa.....	32
Figura 18 - Traçado horizontal 3º alternativa.....	32
Figura 19 - Perfil Longitudinal da 3º alternativa.....	33
Figura 20 – As três alternativas de traçado	33
Figura 21 - Primeira curva	35
Figura 22 - Perfil transversal da rodovia.....	39
Figura 23 – Perfil transversal da rodovia com superelevação e superlargura	39
Figura 24 - Terceira curva	40

Figura 25 - Traçado com as dimensões	43
Figura 26 - Primeira curva	45
Figura 27 - Segunda curva	47
Figura 28 - Terceira curva	49
Figura 29 - Quarta curva	51
Figura 30 - Quinta curva.....	53
Figura 31 - Sexta curva	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de projeto.....	9
Quadro 2 - Locação de curvas circulares simples.....	16
Quadro 3 - Valores-limite dos raios R acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição	19
Quadro 4 - Locação de curva de transição	20
Quadro 5 - Valores máximo admissíveis do coeficiente f.....	21
Quadro 6 - Valores de R que dispensam superelevação	21
Quadro 7 - Taxas máximas de superelevação admissíveis - <i>e_{máx}</i>	22
Quadro 8 - Valores de superlargura para Projeto (m)	23
Quadro 9 - Comparativo dos traçados	34
Quadro 10 - Pontos notáveis do estaqueamento	37
Quadro 11 - Pontos notáveis do estaqueamento	41
Quadro 12 - Estaqueamento e coordenadas nos PIs.....	44
Quadro 13 - Elementos geométrico da segunda curva com transição	46
Quadro 14 - Pontos notáveis do estaqueamento	46
Quadro 15 - Elementos geométrico da segunda curva com transição	48
Quadro 16 - Pontos notáveis do estaqueamento	48
Quadro 17 - Elementos geométrico da terceira curva	50
Quadro 18 - Pontos notáveis do estaqueamento	50
Quadro 19 - Elementos geométrico da quarta curva com transição.....	52
Quadro 20 - Pontos notáveis do estaqueamento	52
Quadro 21 - Elementos geométrico da quarta curva com transição.....	54
Quadro 22 - Pontos notáveis do estaqueamento	54

Quadro 23 - Elementos geométrico da quarta curva com transição.....	56
Quadro 24 - Pontos notáveis do estaqueamento	56
Quadro 25 - Locação da curva circular com transição (1º curva).....	62
Quadro 26 - Locação curva circular (1º Curva)	62
Quadro 27 - Locação da curva circular com transição (2º curva).....	63
Quadro 28 - Locação curva circular (2º curva)	63
Quadro 29 - Locação curva circular (3º curva)	64
Quadro 30 - Locação da curva circular com transição (4º curva).....	66
Quadro 31 - Locação curva circular (4º curva)	66
Quadro 32 - Locação da curva circular com transição (5º curva).....	67
Quadro 33 - Locação curva circular (5º curva)	67
Quadro 34 - Locação da curva circular com transição (6º curva).....	68
Quadro 31 - Locação curva circular (6º curva)	68

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tangente externa	14
Equação 2 - Afastamento ou flecha	15
Equação 3 - Desenvolvimento da curva	15
Equação 4 - Ponto de curva ou ponto de concordância horizontal	15
Equação 5 - Ponto de tangente.....	15
Equação 6 - Grau da corda	15
Equação 7 - Grau da corda de 20m	15
Equação 8 - Primeira deflexão sucessiva	16
Equação 9 - Última deflexão sucessiva.....	16
Equação 10 - Demais deflexões.....	16
Equação 11 - Comprimento mínimo de transição	19
Equação 12 - Comprimento máximo de transição.....	19
Equação 13 - Comprimento adotado.....	19
Equação 14 - Ângulo de transição (em radianos)	19
Equação 15 - Abscissa dos pontos SC e CS	19
Equação 16 - Ordenada dos pontos SC e CS.....	19
Equação 17 - Ângulo central do trecho circular	19
Equação 18 - Desenvolvimento do trecho circular	19
Equação 19 - Abscissa do centro O'	20
Equação 20 - afastamento da curva circular	20
Equação 21 - Tangente Total.....	20
Equação 22 - Ângulo de transição	20
Equação 23 - Abscissa de um ponto genérico A.....	20
Equação 24 - Ordenada de um ponto genérico A	20

Equação 25 - Ângulo da deflexão	20
Equação 26 - Raio mínimo	22
Equação 27 - Superelevação adotada	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CNT	Conferência Nacional de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
H	Horas
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
KM	Quilômetros
M	Metros
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
VMD	Volume Médio Diário

1. INTRODUÇÃO

Os critérios para o projeto de rodovias baseiam-se em princípios de geometria, de física e nas características de operação dos veículos. Incluem não somente cálculos teóricos, mas também resultados empíricos deduzidos de numerosas observações e análises do comportamento dos motoristas, reações humanas, capacidade das estradas, entre outras. A construção de uma estrada deve ser tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente abrangente. (Pontes Filho, 1998)

Segundo Senço (2008), a ideia de construir uma estrada rodoviária surge, evidentemente, assim que os fatores determinantes do progresso atingem a região, tornando necessário melhorar os meios de locomoção. Sendo uma das funções básicas do governo federal, estadual e municipal, atender as necessidades da população construindo novas estradas.

A demanda para a construção de novas rodovias em geral só tem aumentado principalmente ao acesso a capital do estado, o estudo topográfico é primordial, para a escolha do melhor traçado, desviando de regiões montanhosas, rochosas, alagadiças e etc. A Geometria de uma rodovia é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinais e transversais. (Costa & Figueiredo, 2007)

Claramente, os fatores dos processos determinantes já estão atingindo a região de Paraíso do Tocantins, para suprir a necessidade da população, torna-se necessário melhorar o acesso para os meios de transporte até à capital Palmas, ao pátio multimodal localizado próximo a TO-080 e ao setor de industriais de Porto Nacional que o acesso pela ponte está interditada para caminhões., constituindo-se ter a iniciativa do governo estadual, para fazer a realização do planejamento e da construção de uma nova estrada.

A construção de uma nova rodovia estabelece um padrão geométrico de desenvolvimento para a região de Paraíso do Tocantins/TO, portanto a proposta de criação da rodovia em estudo, é visando uma alternativa de solução para a diminuição do tráfego de veículos pesados na travessia urbana de Paraíso, resultando em pontos positivos para a diminuição de acidentes na travessia, e a conservação do pavimento da BR-153 na área urbana da cidade.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Elaborar o estudo do traçado horizontal geométrico rodoviário, ligando a BR-153/TO (km-497) até a TO-080 (km-50), desviando o tráfego da área urbana da cidade de Paraíso do Tocantins/TO.

1.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Propor uma alternativa de estudo do traçado horizontal geométrico na região de Paraíso do Tocantins/TO;
- ✓ Estudos preliminares para o reconhecimento do traçado;
- ✓ Determinar a melhor alternativa para o traçado horizontal;
- ✓ Apresentar o projeto horizontal geométrico.

1.2. Justificativa e Importância do Trabalho

Com o grande fluxo de veículos do sul do estado com destino a Palmas/TO com estimativa do volume médio de 6,0 mil veículos/dia (DNIT, 2012) na BR-153/TO em Paraíso do Tocantins/TO, em especial os caminhões (considerando que o acesso à capital por Porto Nacional/TO não está permitido), e com o aumento do VMD que vai passar a existir por causa do terminal multimodal (ferrovia Norte/Sul), surge a necessidade de reduzir o tráfego na travessia urbana de Paraíso do Tocantins. Sugere-se a implantação de um traçado rodoviário desviando o tráfego no km-497 da rodovia BR-153/TO e indo até o km-43 da rodovia TO-080.

Por fim, pretende-se com esse trabalho dar ênfase na elaboração no que diz respeito o traçado geométrico, de forma a projetar uma rodovia, desviando o tráfego de veículos pesados da travessia urbana de Paraíso do Tocantins/TO quando estes seguem a direção à capital Palmas/TO e/ou pátio multimodal da ferrovia Norte-Sul.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. História de projeto executivo de engenharia rodoviária

A história das rodovias remete-se desde dos tempos antigos aos tempos atuais no que se conta à associação de cidades, pessoas, transporte de materiais, desenvolvimento social e urbano, o que possibilitou a modernização contínua deste modal de transporte. (Bernucci, 2008)

Segundo Senço (2008), o homem pré-histórico, em busca por recursos de alimentação, buscava formar traçados ou mesmo caminhos entre a sua moradia e os campos de caça, para assim proporcionar melhores condições de locomoção, sendo: mais transitável e seguro. Dessa forma, atendia a ponto de vista fundamental do transporte, que era de melhorar o trajeto usado, quando existe-se a necessidade de se locomover periodicamente entre seus pontos extremos ou intermediários.

Com a invenção da roda que o homem deu um passo no ponto de vista a dar condições de rolamento para a sua nova invenção, já que a topografia como cursos d'água e depressões, não permitia a sua passagem, desviando assim todo caminho a sua frente. (Senço, 2008)

Nessa mesma lógica, com o aumento cada vez maior do número de viagens, a sobrevivência dos povos dependia integralmente da circulação dos grupos ao longo do ano para diferentes locais e ambientes a fim de descobrir novos recursos. No entanto, o maior problema seria associado às estradas, pois precisavam ser transitáveis em diferentes estações do ano, O homem buscou maneiras mais fáceis de solucionar este obstáculo, utilizando situações práticas e empíricas. (Senço, 2008)

Acredita-se que a princípios de caminhos passaram a existir com a construção da pirâmide do faraó Keóps no antigo império do Egito, por volta de aproximadamente 3.000 a.C, onde se construiu um extenso caminho de pedras, que favorecia o transporte dos blocos de rocha usados na maior construção já feita pelo homem antigo, a “Grande Pirâmide”. (Balbo, 2007)

Por volta do ano 500 a.C, o rei Dario construiu boa estrada, fazendo a ligação entre as principais cidades de seu domínio à qual se pode atribuir à integração política que tão famoso tornou o seu reinado. Na época gloriosa da China, política e

comercial, suas principais cidades eram ligadas por estradas construídas com tanto esmero que, mesmo após sua decadência, muitas delas são utilizadas pelas modernas gerações. (Amorim, 2005)

Em Roma (312 a.C), Ápio Cláudio construiu a famosa Via Ápia (Figura 1), estrada larga e calçada com aproximadamente 300 km de distância ligando Roma a Cápuia, ainda é existe e serve como ponto de referência turístico em Roma, Itália. (Souza, 2004)

Figura 1 - Via Ápia em Roma



Fonte: MM, Foto taken himself (2005)

A partir do século XVII houve considerável melhoria e desenvolvimento das estradas da França. No fim do século XVII, a França contava com mais de 40 mil km de estrada, tornando-se as viagens populares deixando de ser privilégio dos ricos e nobres e começando a promover o comércio. (Amorim, 2005)

Depois da invenção do motor por volta de 1769, e à exploração por Daimler e Henry Ford em 1909, iniciou-se a grande arrancada para o transporte rodoviário. Assim, no decorrer do século XX essa modalidade de transporte teve crescimento

dos mais significativos, em razão da grande flexibilidade operacional. Com a evolução dos veículos, houve a necessidade de construção de estradas com traçados adequados exigidos pelos veículos. (Carvalho, Lima, Gripp Junior, Damasceno, & Trindade, 2013)

No Brasil por volta de 1908 foi feita a primeira grande viagem de automóvel, entre Rio de Janeiro e São Paulo, num automóvel francês, fazendo o percurso através da região, em caminhos de carros de boi das fazendas. Em 1922 quando Washington Luiz assumiu o governo do Estado de São Paulo, deu o início ao desenvolvimento da política rodoviária no Brasil, dando continuidade em 1926 quando tomou posse da presidência da República, construiu e inaugurou a primeira ligação rodoviária entre Rio e São Paulo e a chamada Rio-Petrópolis, a inauguração de ambas deu-se em 1928. (Amorim, 2005)

Entorno de 1950, o país se situava com o comparecimento das primeiras indústrias automobilísticas e de automóvel, ocorrendo o aumento da industrialização, colocando-se em evidência a prioridade para um forte investimento e desenvolvimento na área de construção rodoviária. (Prego, 2001)

Durante a presidência de Juscelino Kubitschek, a tática do governo era de interligar e juntar o Brasil, principalmente à nova capital do Brasil, Brasília. Com a mudança da capital para o centro do País, foram construídas as rodovias Belém - Brasília, Brasília - Rio Branco e Cuiabá - Porto Velho, no intuito de permitir uma passagem da economia e do povoamento de novas áreas. (Prego, 2001)

2.2. Estudos para elaboração de uma rodovia

Os trabalhos para construção de uma estrada iniciam-se por meio de estudos de planejamento de transporte. Esses estudos têm por objetivo conferir o desempenho do sistema rodoviário existente para posteriormente, estabelecer prioridades de ligação com elevada consideração às demandas de tráfego detectadas e projetadas de acordo com os dados socioeconômicos de regiões em estudo. (Pontes Filho, 1998)

Ainda conforme Pontes Filho (1998), no que diz respeito especificamente a projetos rodoviários, existe uma série de estudos e projetos específicos que devem ser realizados, sendo basicamente, os seguintes:

De acordo com Pontes Filho (1998, p.03):

- Estudos de tráfego;
- Estudos geológicos e geotécnicos;
- Estudos hidrológicos;
- Estudos topográficos;
- Projeto geométrico;
- Projeto de obras de terra;
- Projeto de terraplenagem;
- Projeto de pavimentação;
- Projeto de drenagem;
- Projeto de obras de arte corrente e especiais;
- Projeto de viabilidade econômica;
- Projeto de desapropriação;
- Projetos de interseções, retornos e acessos;
- Projeto de sinalização;
- Projeto de elemento de segurança;
- Orçamento da obra e plano de execução;
- Relatório de impacto ambiental.

A construção de uma rodovia admite, deste modo, uma série de operações, desde os inícios dos trabalhos na elaboração do anteprojeto de engenharia até a abertura ao tráfego. (Amorim, 2005).

2.3. Projeto geométrico de rodovias

O projeto geométrico de rodovia é fundamental para desenvolver parâmetros de velocidade operacional do percurso, rampas e curvas horizontais e verticais do trecho proporcionando o conforto e garantia e segurança aos condutores. O transporte rodoviário é responsável pela grande parte por transportar pessoas, bens e mercadorias, e por isso, necessita de elaboração contínua de novas estradas. (Pimenta & Oliveira, 2001).

Segundo o *Highway Capacity Manual* – HCM (TBR, 2010), as características geométricas da rodovia determinam a sua capacidade e refletem em fatores. A geometria da rodovia é escolhida a partir de suas características espaciais, incluindo greides, quantidade e largura das faixas, acostamentos e curvas, entre outros. Esses

elementos compõem as características básicas do projeto geométrico, tais como: alinhamento horizontal, alinhamento vertical e seção transversal.

O traçado da rodovia em planta é alinhamento horizontal, sendo constituído por trechos retos (tangentes) e por curvas horizontais. Já o traçado da rodovia em perfil é o alinhamento vertical que, é composto por trechos retos (greides) e trechos em curva (curvas verticais). A seção transversal é formada por elementos essenciais como largura de faixa, largura de acostamento, sarjetas, canteiro central, entre outros fatores determinantes. (Pontes Filho, 1998).

As características geométricas do projeto comprometem as condições de segurança rodoviária nos aspectos relacionados à habilidade do motorista em manter o controle do veículo, de identificar situações e características perigosas, da existência de oportunidades de conflitos tanto em relação à quantidade quanto ao tipo do comportamento e atenção dos condutores. Portanto, a implantação de projetos geométricos impróprios como consequência, resulta em acidentes, limitações da capacidade de tráfego da rodovia e no aumento dos custos operacionais. (DNIT, 2010)

No caso de rodovias construída em terrenos com ondulações e/ou montanhosos, aconselha-se a implantação de faixas adicionais de subida, para conceder a ultrapassagem de veículos, por isso é possível aumentar a capacidade da rodovia e portanto minimizar o número de acidentes. (CNT, 2014)

2.4. Classificação das rodovias

As rodovias são classificadas de acordo com a posição geográfica e administrativa, alinhando-se as características físicas e condições técnicas. (Carvalho, Lima, Gripp Junior, Damasceno, & Trindade, 2013).

De acordo com Costa (2014, p.11), podemos classificar as rodovias em:

- Classe 0 - (via expressa): rodovia do mais elevado padrão técnico, com controle total de acesso. Para a seleção dessa classe será de decisão administrativa dos órgãos competentes;
- Classe I: as rodovias desta classe são divididas em classe IA e classe IB. A rodovia da classe IA possui pista dupla e controle parcial de acesso, a sua necessidade ocorre quando o volume de tráfego se elevar numa simples pista. Já as rodovias da classe IB possuem pistas

simples qualificadas por rodovias de alto padrão, suportando volumes de tráfego, conforme projetados para 10 anos após a abertura ao tráfego, com $VMD > 1400$ veículos, operando em duas direções;

- Classe II: rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego em 10 anos compreendidos entre os seguintes limites: $1400 > VMD \geq 700$ veículos, operando em duas direções;
- Classe III: rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego em 10 anos compreendidos entre os seguintes limites: $700 > VMD \geq 300$ veículos, operando em duas direções;
- Classe IV: rodovia de pista simples, as quais podem ser subdivididas em rodovias de classe IVA (veículos, operando em duas direções) e rodovias de classe IVB ($VMD < 50$ veículos, operando em duas direções).

2.5. Velocidade de projeto

Segundo AASHTO (2001), define velocidade de projeto ou velocidade diretriz, como a máxima velocidade que um veículo consegue permanecer em um trecho com condições normais, segurança e conforto.

De acordo com a classe de projeto (Quadro 1) é possível identificar as características, critérios de classificação técnica, assim como a velocidade de projeto em km/h por características de região. (DNER, 1999)

Quadro 1 - Classes de projeto

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA ⁽¹⁾	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 ⁽²⁾ .	100	80	60
	B Pista Simples	Volume de Tráfego projetado: > 200 vph ou > 1.400 vpd.			
II	Pista Simples	Volume de Tráfego projetado: 700 vpd a 1.400 vpd.	100	70	50
III	Pista Simples	Volume de Tráfego projetado: 300 vpd a 700 vpd.	80	60	40
IV	A Pista Simples	Tráfego na data de abertura: 50 vpd a 200 vpd.	60	40	30
	B Pista Simples	Tráfego na data de abertura: < 50 vpd.			

OBSERVAÇÕES: ⁽¹⁾ Os Volumes de Tráfego indicados são bidirecionais e referem-se a veículos mistos; os volumes projetados são os previstos para o fim dos dez primeiros anos de operação da via.

⁽²⁾ Conceito e critérios para o Nível de Serviço: vide o "Highway capacity manual" (TRB, 1994).

Fonte: DNIT (2008)

A indicação da velocidade de projeto conveniente é um dos pontos iniciais do planejamento e desenvolvimento do projeto de rodovia, é interessante sua escolha porque quase todos os parâmetros de projeto e de operação da rodovia são influenciados pela velocidade. Os motoristas tendem a aprovar um menor limite de velocidade, onde as adversidades das condições reais são claras, onde não há razão aparente. Aparece exceções onde é dificultoso fornecer a geometria e condições marginais para a velocidade escolhida de projeto, para esses casos, deve ser adotado algum método para advertir os motoristas, como sinais de advertência e de velocidade permitida antes de curvas muito fechada. (DNIT, 2010)

2.6. Veículos de projeto

No projeto de rodovias, necessita-se levar em conta qual o tipo de veículo que a mesma vai suportar, esse veículo de projeto deve ter dimensões, peso e potência de motor compatível com as características geométricas da via. (Senço, 2008)

Do ponto de vista de Pontes Filho (1998), existem quatro grupos básicos de veículos a serem adotados conforme as características predominantes do tráfego, para a utilização dos projetos geométricos rodoviário no Brasil, normalmente utiliza-se o veículo do tipo CO.:

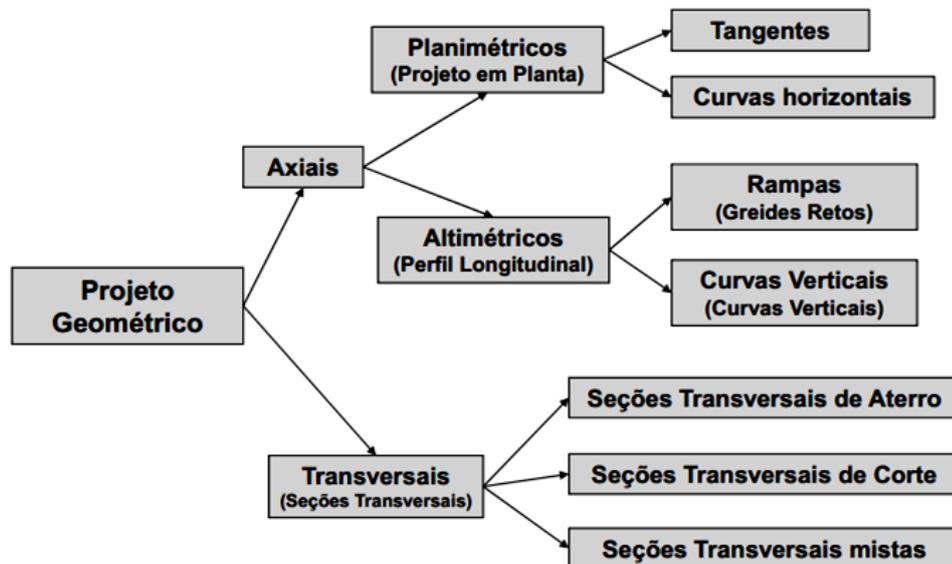
De acordo com Pontes Filho (1998, p.54). Os grupos em questão são classificados como:

- VP: Veículos de passeio leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo utilitários, pick-ups, furgões e similares;
- CO: Veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples. Incluem os caminhões e ônibus convencionais, habitualmente de 2 eixos e 6 rodas;
- SR: Veículo comercial articulado, composto normalmente de unidade tratora simples e semirreboque;
- O: Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões que o veículo CO básico, como ônibus de longo percurso e de turismo e caminhões longos.

2.7. Elementos de projeto geométrico de rodovias

De acordo com Pontes Filho (1998), a geometria de uma rodovia é estabelecida pelo traçado do seu eixo em planta, pelos perfis longitudinais e transversais. A ilustração da Figura 2 mostra a seguir, o resumo dos elementos principais geométricos de uma rodovia.

Figura 2 - Elementos geométricos de uma estrada.



Fonte: PONTES FILHO (1998)

2.7.1. Elementos planimétricos de uma rodovia

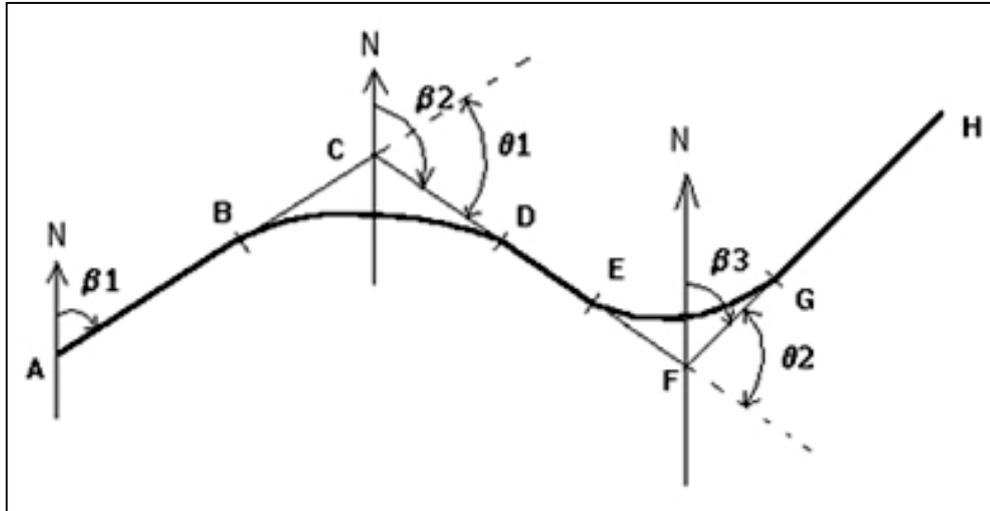
A exposição de um projeto em planta forma na disposição de uma série de alinhamentos retos, aderidos pelas curvas de concordância horizontal. (Adala, 2008)

2.7.1.1. Tangente

São nomeados em simplesmente tangentes os trechos retos localizados entre duas curvas de concordância por consistir em tangentes a essas mesmas curvas, ou outros alinhamentos retos são classificadas tangentes externas. Um alinhamento caracteriza-se pela sua extensão, pela sua posição referente (a deflexão, ou seja, o ângulo que um alinhamento precedente faz com o precedente) ou absoluta (refere se ao azimute à linha Norte-Sul). (Pontes Filho, 1998)

Na Figura 3 a seguir, apresenta o eixo de um trecho de uma rodovia de rodagem:

Figura 3 - Eixo de um trecho de estrada de rodagem



Fonte: COMASTRI e CARVALHO (1981)

Em que: β_1 , β_2 , β_3 - São os azimutes dos alinhamentos.

AZIMUTE - É o ângulo que a direção faz com o norte magnético, medido no sentido horário.

θ_1 , θ_2 - São os ângulos de deflexão.

AB, DE, GH - São as Tangentes.

BC, CD, EF, FG - São as Tangentes Externas.

BD, EG - Desenvolvimento das curvas de concordância.

2.7.1.2. Curvas horizontais

As curvas de concordância horizontal são os princípios aplicado para combinar os alinhamentos retos. E é classificada como curvas simples e compostas sem e com transição. (Pontes Filho, 1998)

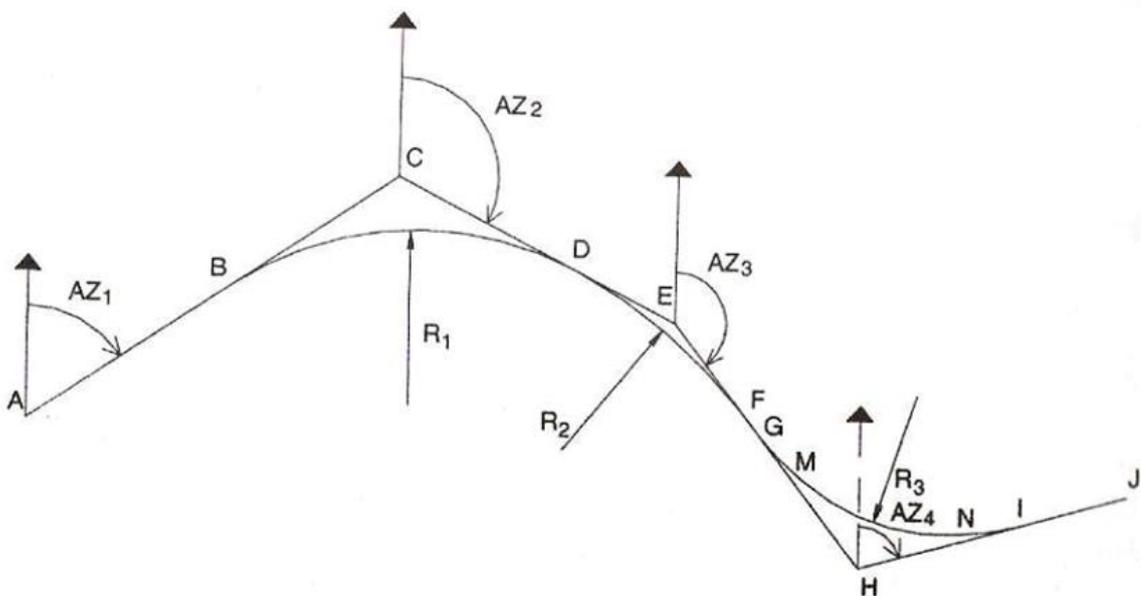
Segundo Carvalho *et al.* (2013), as curvas horizontais são classificadas em:

- **Simples:** curvas circulares, que concordam dois ou mais alinhamentos.
- **Compostas:** subdividem-se em duas categorias:

Sem transição: quando se utilizam dois ou mais arcos de círculos de raios diferentes para concordar os alinhamentos retos, conforme se observa na Figura 4. Os alinhamentos AC, CE e EH foram concordados com dois arcos de círculos de raios R_1 e R_2 .

Com transição: quando se emprega um arco de círculo adequadamente concordando por dois ramos de uma espiral. Esses ramos da espiral podem ser simétricos ou assimétricos. Na Figura 4, os alinhamentos EH e HJ foram concordados com dois arcos simétricos de uma espiral (GM E NI), intercalados por um arco de círculo de raio R_3 .

Figura 4 - Concordâncias horizontais compostas



Fonte: CARVALHO, LIMA, *et al.*, (2013)

2.8. Curvas horizontais circulares

2.8.1. Curvas horizontais circulares sem transição

A curva circular é a nomeação comum das curvas simples (um segmento de circunferência) de um projeto geométrico de rodovias e vias urbanas que tecnicamente é chamado de curva circular de concordância horizontal. (Lee, 2008)

Equação 2 - Afastamento ou flecha

$$e = T * \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right)$$

Equação 3 - Desenvolvimento da curva

$$D_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180^\circ}$$

Ainda segundo Pontes Filho (1998), as estacas dos pontos PC e PT são determinadas pelas seguintes equações 4 e 5:

Equação 4 - Ponto de curva ou ponto de concordância horizontal

$$E(PC) = E(PI) - [T]$$

Equação 5 - Ponto de tangente

$$E(PT) = E(PC) + [D]$$

Indicando Pontes Filho (1998), as cordas recomendadas e a equações para o grau da corda:

- Corda de 20m \geq 180m
- Corda de 10m para $65m \leq R < 180m$
- Corda de 5m para $25m \leq R < 65m$
- Corda de 2m para $R < 25m$

Equação 6 - Grau da corda

$$G = \frac{180^\circ * C}{\pi * R}$$

Equação 7 - Grau da corda de 20m

$$G_{20} = \frac{1145,95}{R}$$

Segundo Santos (2007), para complementar a etapa das curvas circulares a deflexão sucessiva e a deflexão acumulativa:

- **Deflexão sucessiva:** é deflexão que correspondente a cada estaca isoladamente, ou seja, é o ângulo que a visada a cada estaca forma com a tangente ou com a visada da estaca anterior.
- **Deflexão acumulativa:** é a deflexão referida sempre em relação à tangente e apresentam valores acumulados das deflexões sucessivas.

A seguir as equações das deflexões sucessivas (Pontes Filho, 1998):

Equação 8 - Primeira deflexão sucessiva

$$ds^1 = (20 - a) * \left(\frac{G}{2C}\right)$$

Equação 9 - Ultima deflexão sucessiva

$$ds_{PT} = b * \left(\frac{G}{2C}\right)$$

Equação 10 - Demais deflexões

$$ds = d = \left(\frac{G}{2}\right)$$

Com isso, é organizada uma caderneta de locação da curva para verificação dos cálculos. A deflexão acumulada para o PT deverá ser igual à metade do ângulo central da curva, conforme com o Quadro 2. (Pontes Filho, 1998)

Quadro 2 - Locação de curvas circulares simples

ESTACAS	DEFLEXÕES SUCESSIVAS	DEFLEXÕES ACUMULADAS
PC = x + a	0°	0°
1	ds ₁	da ₁
2	ds ₂	da ₂
3	ds ₃	da ₃
⋮	⋮	⋮
PT = y + b	ds _{PT}	da _{PT} = Δ / 2

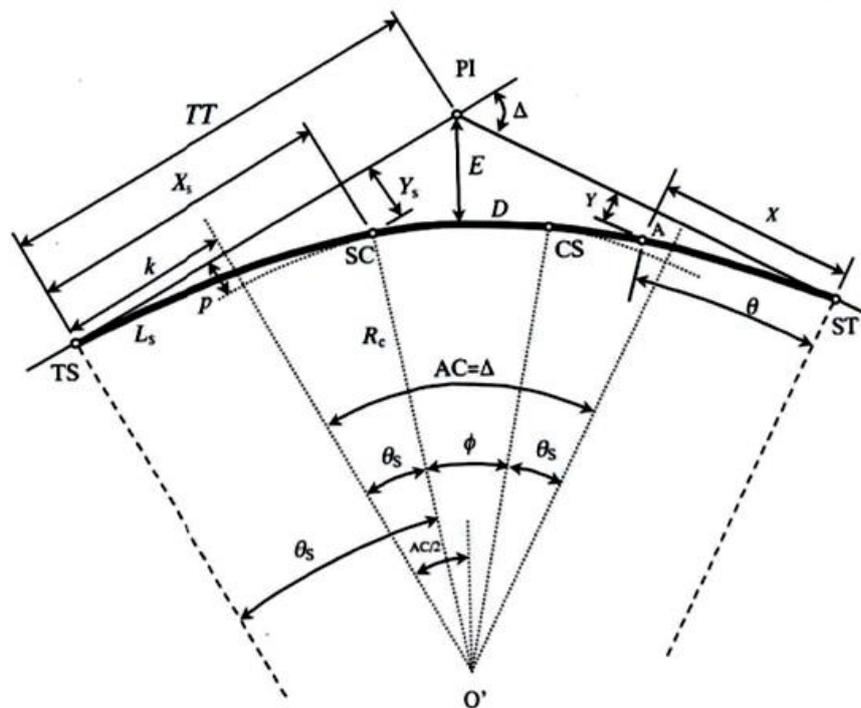
Fonte: PONTES FILHO (1998)

2.8.2. Curvas horizontais circulares com transição:

Curva de Transição é a denominação comum das curvas compostas (um segmento de circunferência intercalando dois segmentos de outra curva pré-escolhida) de um projeto geométrico de rodovias e que tecnicamente é nominada de curva de transição de concordância horizontal. (Lee, 2008)

Na Figura 6, Pontes Filho (1998) apresenta como podem ser definidos e codificados os elementos e os pontos do traçado da curva no sentido crescente do estaqueamento de curva circular com transição.

Figura 6 - Curva de concordância horizontal composta com transição simétrica.

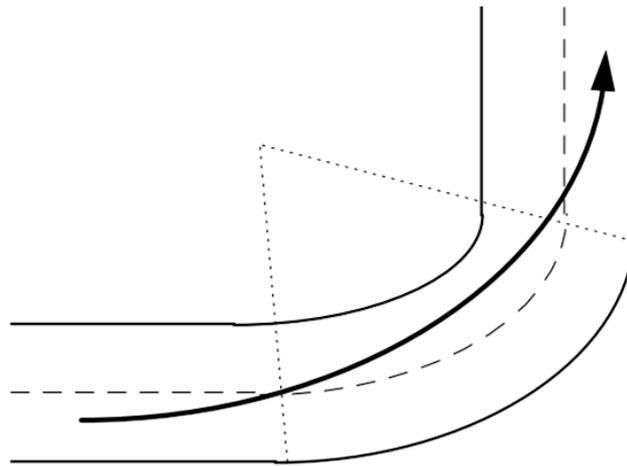


O' = centro do trecho circular afastado	AC = ângulo central
PI = ponto de interseção das tangentes	Δ = deflexão das tangentes
A = ponto genérico da transição	D = desenvolvimento do trecho circular
X_s = abscissa dos pontos SC e CS	R_c = raio da curva circular
Y_s = ordenada dos pontos SC e CS	L_s = comprimento do trecho de transição
TT = tangente total	E = distância do PI à curva circular
K = abscissa do centro O'	
p = afastamento da curva circular	Pontos notáveis:
X = abscissa de um ponto genérico A	TS = tangente-espiral
Y = ordenada de um ponto genérico A	SC = espiral-circular
θ_s = ângulo de transição	CS = circular-espiral
ϕ = ângulo central do trecho circular	ST = espiral-tangente

No momento que o veículo passa de um alinhamento reto para um trecho com curva, aparece uma força centrífuga agindo sobre o mesmo, que tende a afastá-lo da trajetória que normalmente precisaria percorrer. Este acontecimento representa uma ameaça e um desconforto para o usuário. (Pontes Filho, 1998)

Em conformidade com Santos (2007), o veículo acompanha um caminho de “transição intermediária” entre a reta e a curva, a qual existe variação dependendo da velocidade, o raio de curvatura e a superelevação. O problema se define quando aumenta a velocidade e o raio de curvatura é pequeno, pois a transição se processa em uma distância maior, podendo resultar até na invasão da outra faixa, representado pela Figura 7.

Figura 7 - Problema de invasão da faixa adjacente nas curvas simples



Fonte: SANTOS (2007)

Segundo Costa (2014), as principais vantagens para a utilização de curvas de transição no traçado em planta são estabelecidas logo abaixo.

- Favorece uma trajetória fácil de ser transitada pelo os condutores, de maneira que a força centrífuga aumenta e diminui gradativamente, à medida que o veículo entra ou sai da curva circular. Isso diminui a tendência dos veículos invadirem as faixas adjacentes;
- Fornece um trecho para giro da superfície do pavimento (inclinação transversal ou sobre elevação ou superelevação transversal);
- Proporciona trecho para a transição da largura normal para a superlargura nas curvas;
- Promove uma aparência mais agradável ao traçado quando notado pelo motorista.

Existem muitos discernimentos desiguais tendendo orientar o estabelecimento do alcance de ocupação de curvas de transição. Para fins de projetos rodoviários convencionais, o DNER indica o discernimento coligado à velocidade diretriz abreviado pelos valores constantes do Quadro 3, dada a seguir. (Santos, 2007)

Quadro 3 - Valores-limite dos raios R acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
R(m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900

Fonte: DNER (1999)

Conforme Pontes Filho (1998) proporciona roteiro para calcular os elementos geométricos da curva com transição, utilizando as seguintes equações:

Equação 11 - Comprimento mínimo de transição

$$L_{smin} = 0,036 * \left(\frac{V^3}{R} \right)$$

Equação 12 - Comprimento máximo de transição

$$L_{smax} = 2,2 * V$$

Equação 13 - Comprimento adotado

$$L_s = 3 * L_{smin} < L_{smax}$$

Equação 14 - Ângulo de transição (em radianos)

$$\theta_s = \frac{L_s}{2 * R_c}$$

Equação 15 - Abscissa dos pontos SC e CS

$$X_s = L_s * \left(1 - \frac{\theta_s^2}{10} + \frac{\theta_s^4}{216} \right)$$

Equação 16 - Ordenada dos pontos SC e CS

$$Y_s = L_s * \left(\frac{\theta_s}{3} - \frac{\theta_s^3}{42} \right)$$

Equação 17 - Ângulo central do trecho circular

$$\phi = \Delta - 2 * \theta_s$$

Equação 18 - Desenvolvimento do trecho circular

$$D = R_c * \phi$$

Equação 19 - Abscissa do centro O'

$$k = X_s - (R_c * \text{sen}\theta_s)$$

Equação 20 - afastamento da curva circular

$$p = Y_s - R_c * (1 - \text{cos}\theta_s)$$

Equação 21 - Tangente Total

$$TT = k + (R_c + p) * \tan(\text{AC}/2)$$

A seguir as equações para calcular as deflexões na transição (Pontes Filho, 1998):

Equação 22 - Ângulo de transição

$$\theta_s = \frac{L^2}{2 * R_c * L_s}$$

Equação 23 - Abscissa de um ponto genérico A

$$X = L * \left(1 - \frac{\theta_s^2}{10} + \frac{\theta_s^4}{216}\right)$$

Equação 24 - Ordenada de um ponto genérico A

$$Y = L * \left(\frac{\theta_s}{3} + \frac{\theta_s^3}{42}\right)$$

Equação 25 - Ângulo da deflexão

$$i = \text{arctang}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

Assim que calculado todos os elementos, conforme o Quadro 4 prepara-se uma tabela de locação de curva de transição. (Pontes Filho, 1998)

Quadro 4 - Locação de curva de transição

TABELA DE LOCAÇÃO				
ESTACA	L	X	Y	i
TS				
⋮				
SC				
$c_s =$				
$j_s =$				

Fonte: PONTES FILHO (1998)

2.8.3. Superelevação

Os veículos em movimento das curvas são submetidos à ação de forças transversais que correspondem à força centrífuga. A superelevação é a inclinação transversal na pista necessária nas curvas a fim de combater a força centrífuga (Pontes Filho, 1998).

O manual do DNER (1999) define como valores de coeficientes de atrito transversais máximos admissíveis para fins de projeto, os transcritos no Quadro 5 para diferentes velocidades diretrizes.

Quadro 5 - Valores máximo admissíveis do coeficiente f

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{\text{máx}}$	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: DNER (1999)

Para curvas com raios grandes em relação à velocidade diretriz de projeto, os efeitos da força centrífuga procederiam desprezíveis, podendo-se projetar as seções transversais da pista nessas curvas para as condições de trecho em tangente, isto é, com abaulamentos, dispensando-se o uso de superelevações. (Lee, 2008)

Segundo o manual do DNER (1999), os valores de raios de curva acima dos quais indicados no Quadro 6 dispensam superelevação.

Quadro 6 - Valores de R que dispensam superelevação

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥ 100
R (m)	450	800	1.250	1.800	2.450	3.200	4.050	5.000

Fonte: DNER (1999)

A taxa máxima de superelevação adotada é empregada em combinação com raio mínimo, proporcionando condições limites para cada velocidade, essa taxa máxima servirá também de base para a determinação das taxas de superelevação para os raios superiores ao mínimo. (Pereira, Ratton, Blasi, & Filho, 2013)

Como verificado no manual do DNER (1999), as taxas máximas de superelevação admissíveis no Quadro 7.

Quadro 7 - Taxas máximas de superelevação admissíveis - *e_{máx}*

<i>e_{máx.}</i>	Casos de Emprego
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10%	Máximo normal. Adequado para fluxo ininterrupto. Adotar para rodovias Classe 0 e rodovias Classe I em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior normal. Adotar para rodovias Classe I em região montanhosa e rodovias das demais classes de projeto.
6%	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em geral sujeitando o tráfego a reduções de velocidades ou paradas.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

Fonte: DNER (1999)

2.8.3.1. Raio mínimo de curva horizontal:

São os menores raios das curvas que podem ser percorridas em condições limite com a velocidade diretriz, e à taxa máxima de superelevação admissível, em condições aceitáveis de segurança e de conforto de viagem. (Adala, 2008)

A Equação 26, devidamente resumida, é utilizada pelas normas com vistas à determinação dos raios mínimos de curva admissíveis nos projetos. Explicitando, na citada equação, o raio R, tem-se: (Pontes Filho, 1998)

Equação 26 - Raio mínimo

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 * (e_{\max} + f_{\max})}$$

O critério seguido pela AASHTO para balanceamento é o de estabelecer uma relação variável entre as informações de “e” e de “f” à medida que variam os raios de curva (R). O critério adotado pelo DNIT, o qual é assemelhado ao da AASHTO, porém mais simplificado para a determinação dos valores de superelevação a adotar, para cada concordância horizontal no projeto de rodovias. A Equação 27 adotada por tal critério é a seguinte: (Pontes Filho, 1998)

Equação 27 - Superelevação adotada

$$e = e_{\max} * \left(\frac{2 * R_{\min}}{R_p} - \frac{R_{\min}^2}{R_p^2} \right)$$

2.8.4. Superlargura

O aumento na largura da pista é a superlargura, esse acréscimo é necessário nas curvas para a correção na passagem dos veículos. (Pontes Filho, 1998)

As normas, manuais ou recomendações de projeto geométrico estabelecem as larguras mínimas de faixas de trânsito a adotar para as diferentes classes de projeto. (Santos, 2007)

O veículo básico para a determinação da superlargura a adotar numa concordância horizontal é o veículo tipo CO, pois os demais tipos de veículos, para os raios de curva convencionais e velocidades diretrizes normais, operarão satisfatoriamente com as superlarguras projetadas para atender ao veículo tipo CO. (Lee, 2008)

Deve ser observado que a necessidade de superlargura aumenta com o porte do veículo e com a redução da largura básica da pista em tangente. O quadro 8 apresenta os valores dos raios e velocidade o qual necessita e dispensa a superlargura. (DNER, 1999)

Quadro 8 - Valores de superlargura para Projeto (m)

Velocidade 30 km/h

R	30	40	50	60	70	80	100	150	200	300	500
	1,80	1,40	1,20	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30

V = 40 km/h

R	50	60	70	80	100	150	200	300	500
	1,80	1,40	1,20	1,00	0,90	0,70	0,50	0,40	0,30

V = 60 km/h

V = 80 km/h

R	110	150	200	300	500	800	R	200	300	400	600	1 000
	1,00	0,80	0,70	0,50	0,40	0,30		0,80	0,60	0,50	0,40	0,30

V = 100 km/h

R	340	400	600	1 000	1 300
	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30

Fonte: DNER (1999)

3. METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta os processos para a criação do traçado horizontal geométrico, para a elaboração de uma nova rodovia, com proposta para a diminuição da movimentação de veículos na área urbana da cidade de Paraíso do Tocantins/TO e a melhoria ao acesso para a capital Palmas/TO e o pátio multimodal.

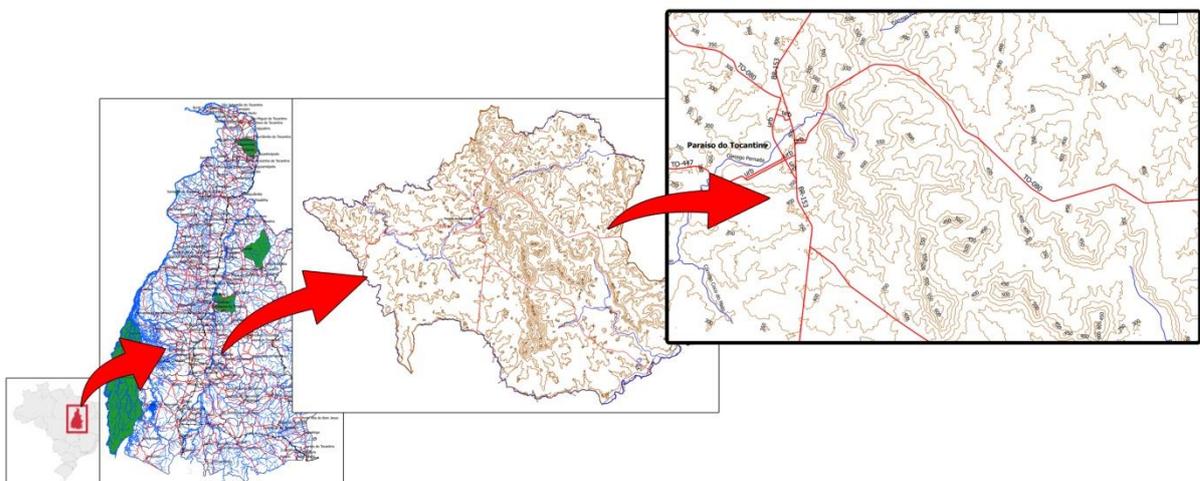
3.1. Pesquisa bibliográfica

Foi realizada a pesquisa bibliográfica em fontes eletrônicas e físicas, onde foi realizada uma busca de informações sobre o projeto geométrico de rodovias em livros, artigos, dissertações, páginas na internet e manuais técnicos para se formar uma base fundamental para a realização deste trabalho.

3.2. Localização da área para o traçado do projeto

A localização da área em estudo, inicia-se nas coordenadas $10^{\circ}11'49,67''$ Sul, $48^{\circ}52'33,42''$ Oeste, sendo na BR-153/TO (km-497), na cidade de Paraíso do Tocantins/TO, e finaliza-se nas coordenadas $10^{\circ}09'54,70''$ Sul e $48^{\circ}47'58,42''$ Oeste na TO-080 (km-50), como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Imagem da localização da área



Fonte: Seplan e Embrapa, adaptado pelo autor (2015)

3.3. Reconhecimento para traçado

Foi realizado o reconhecimento do trecho com objetivo de estudar uma ampla faixa do terreno, supondo onde será projetado o traçado da rodovia, iniciando-se pela localização dos pontos inicial e final da rodovia, indicação dos intermediários (cidade, vila, povoado, ou mesmo uma indústria que precisa da passagem da rodovia), desviando o máximo possível de cursos d'água, traçando por uma topografia mais plana.

3.4. Fases do reconhecimento

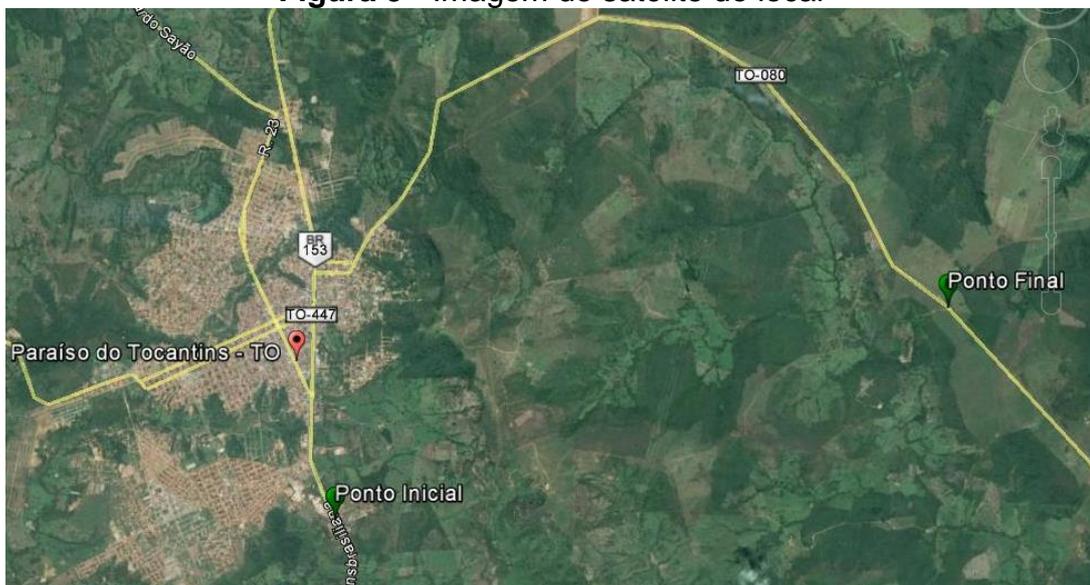
As tarefas desenvolvidas no reconhecimento consistem basicamente em:

- Coleta de dados sobre a região;
- Observação do terreno

3.4.1. Coleta de dados sobre a região

A coleta de dados sobre a região foi realizada através da carta topográfica SC-22-Z-B-II-Paraíso do Tocantins, imagem de satélite (Figura 9), imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) processada através de ferramenta de sistema de informações geográficas (SIG) e visita ao local.

Figura 9 - Imagem de satélite do local



Fonte: Google Earth, (2015).

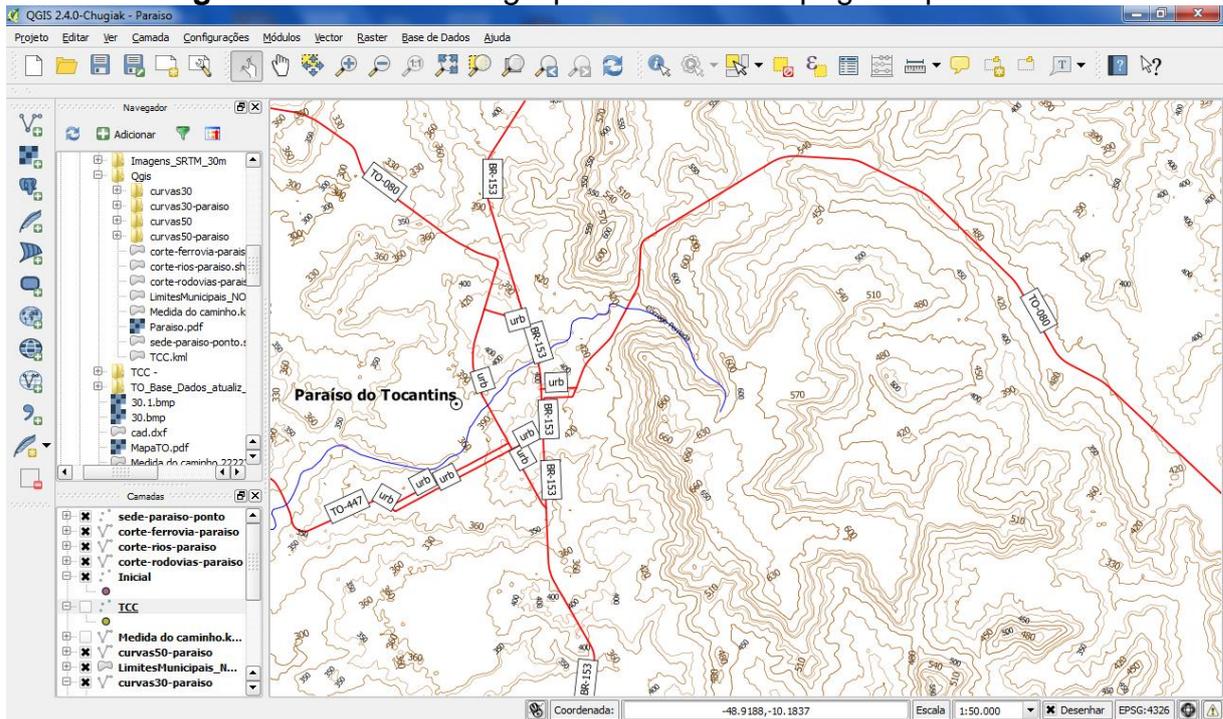
O governo federal brasileiro e o governo do Tocantins têm os dados necessários, com informações de: relevo do terreno, cursos d'água (rios e córregos), sedes municipais, cortes de rodovias e ferrovias, e está disponível pelo SRTM e o mosaico, onde todos os dados necessários para se formalizar uma topografia preliminar do local, disponíveis em um documento digital hospedado no site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através do endereço eletrônico <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, no arquivo SRTM//Tocantins/Carta SC-22-Z-B/Imagens_SRTM_30m, e no documento digital hospedado no site da Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins, através do endereço eletrônico <http://seplan.to.gov.br/>, arquivo Paraíso do Tocantins-ano 2014-15m.

Utilizando, portanto o *software Quantum Gis* (Qgis) para gerar curvas de níveis, seguindo o passo a passo:

- Abre o *Quantum Gis*
- Selecione Camada/Adicionar camada raster;
- Escolha o arquivo SRTM e depois que o mesmo aparecer nos layers, clique com o botão direito e selecione "propriedades";
- Selecione "Estender para MinMax", "Aplicar" e "Ok";
- Selecione no menu Raster/Extração/Contorno;
- Clique na seta para definir qual pasta deseja guardar o arquivo de curvas de níveis, atribua um nome a ele e selecione "Gravar";
- As curvas estão geradas, agora é só desligar o layer do SRTM.

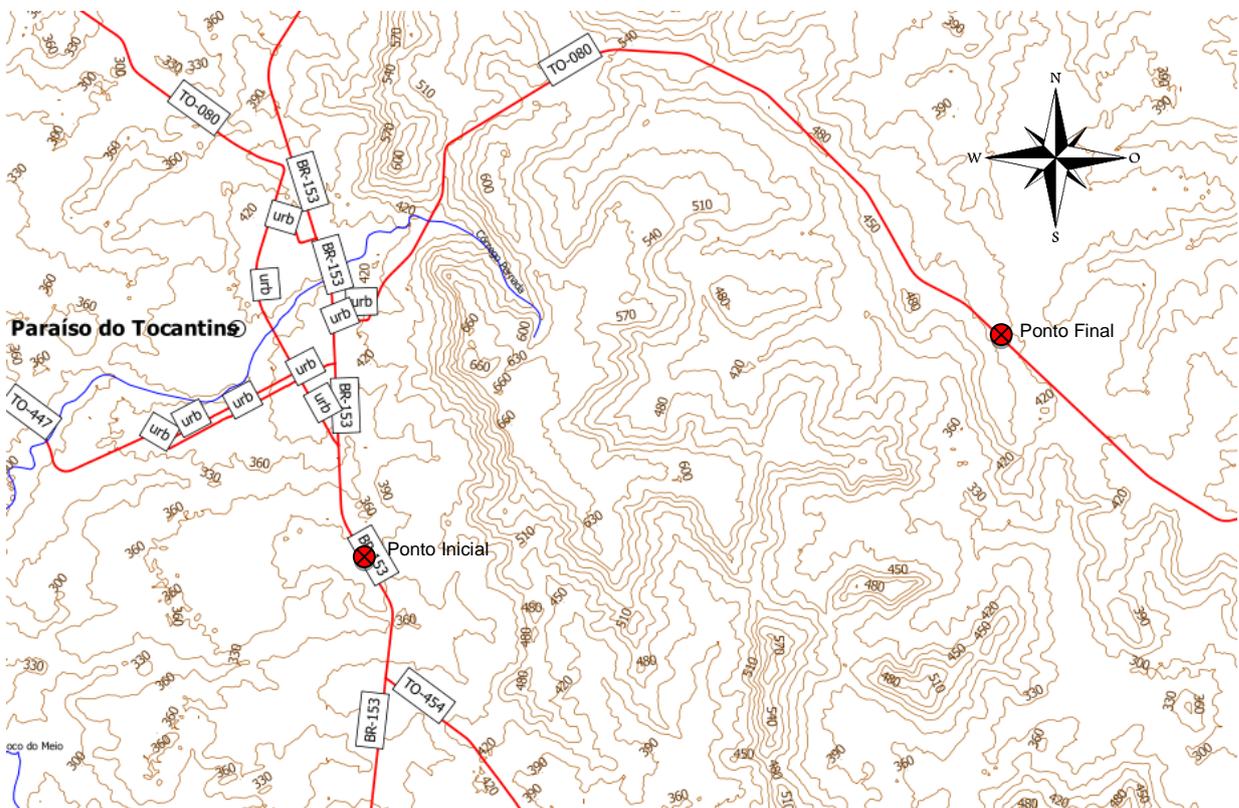
Colocando todas as informações para o desenvolvimento um estudo topográfico preliminar (Figura 10), a fim de escolher um traçado geométrico, a proporção das curvas de nível a cada 30m formando uma topografia preliminar da região, como mostra a Figura 11 abaixo.

Figura 10 – Software Qgis processando a topografia preliminar



Fonte: Autor

Figura 11 – Topografia preliminar



Fonte: Autor (2015)

3.4.2. Observação do terreno

Foi realizada uma visita ao local para a observação do terreno, estudado juntamente com as imagens de satélite e imagens de SRTM processada através do QGIS. De tal modo analisando a topografia da área do projeto, podendo então definir o ponto inicial e o ponto final do traçado.

A Figura 12 mostra a localização do ponto inicial do traçado sendo na BR-153 (km-497), consistindo exatamente no portal da cidade de Paraíso do Tocantins/TO. A Figura 13 exhibe a localização do ponto final do traçado sendo na TO-080 (km-50).

Figura 12 - Ponto inicial do traçado



Fonte: Autor (2015)

Figura 13 - Ponto final do traçado



Fonte: Autor (2015)

3.5. Traçado horizontal geométrico

O traçado horizontal geométrico foi realizado numa série de trechos em tangentes e curvas circulares. A definição do traçado foi realizada três tipos de tentativas para se encontrar o mais viável e adequado aos trechos retos no terreno em função da topografia e demais obstáculos existentes.

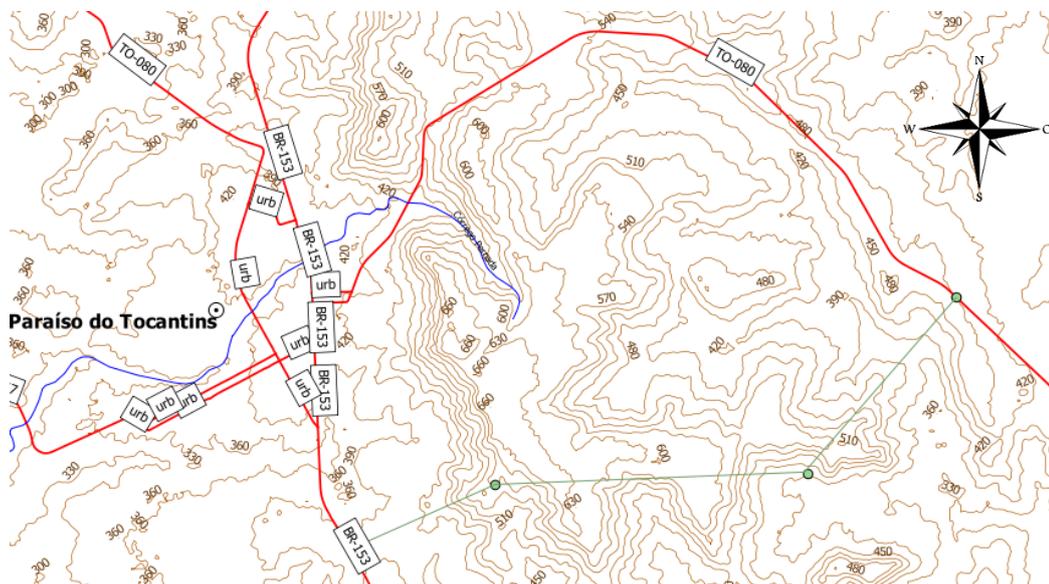
3.5.1. Escolha do traçado

Utilizando portanto a carta topográfica, a topografia preliminar, e com a definição do ponto inicial e final da rodovia escolhido, desenvolvi três exemplos de traçados horizontais, para se então chegar a definição do mais viável traçado para utilizar no projeto geométrico de rodovias.

3.5.1.1. Primeira alternativa de traçado

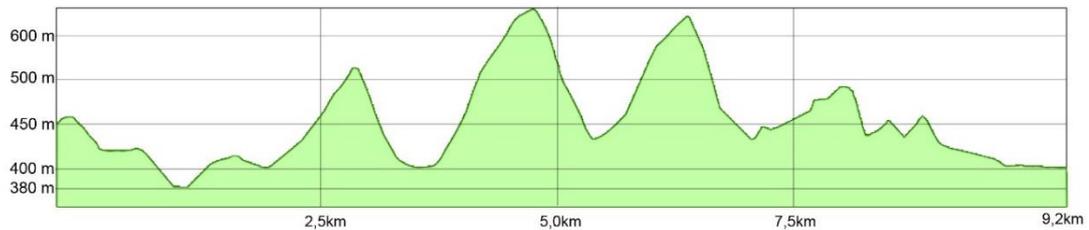
Na Figura 14, apresenta uma opção favorável para o traçado horizontal, com apenas duas curvas. Porém para este ser o definitivo teria que não haver nenhum obstáculo e com a topografia plana. Mas na Figura 15, mostra o perfil longitudinal deste traçado, comprovando então tem muita variação no nível das cotas no terreno, isso sendo desfavorável para o traçado vertical geométrico da rodovia.

Figura 14 - Traçado horizontal 1º alternativa



Fonte: Autor (2015)

Figura 15 - Perfil Longitudinal da 1ª alternativa

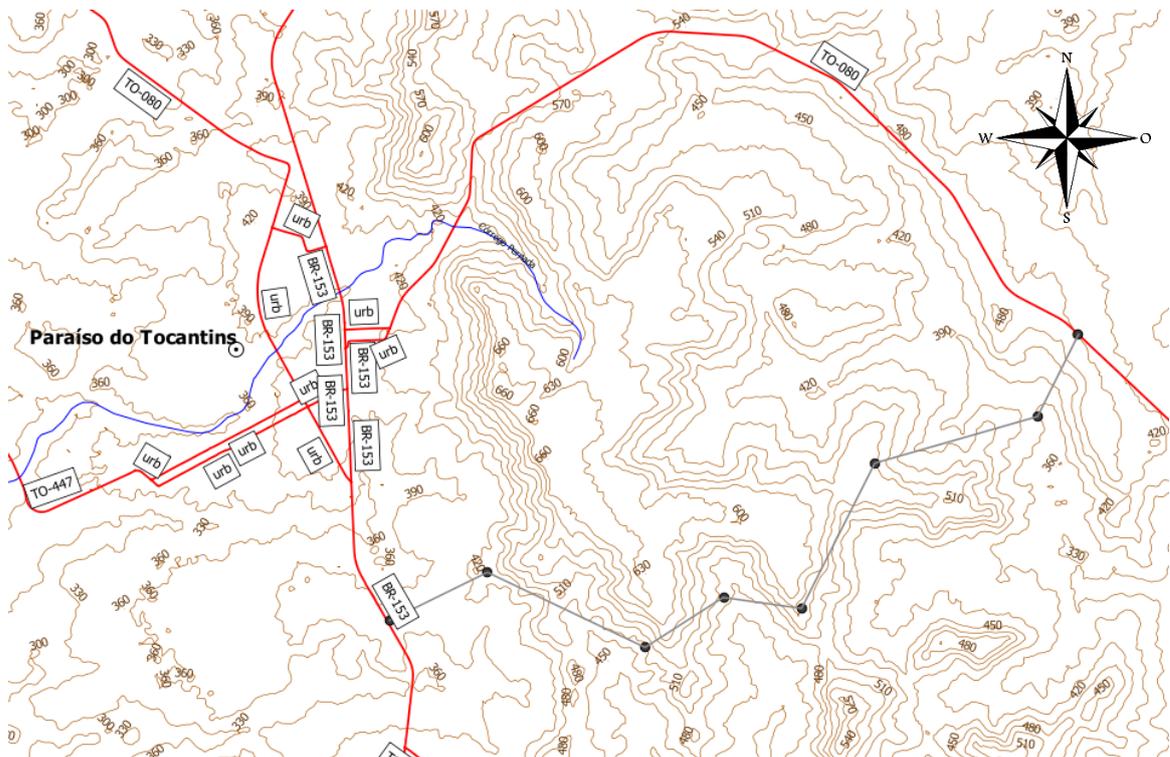


Fonte: Autor (2015)

3.5.1.2. Segunda alternativa de traçado

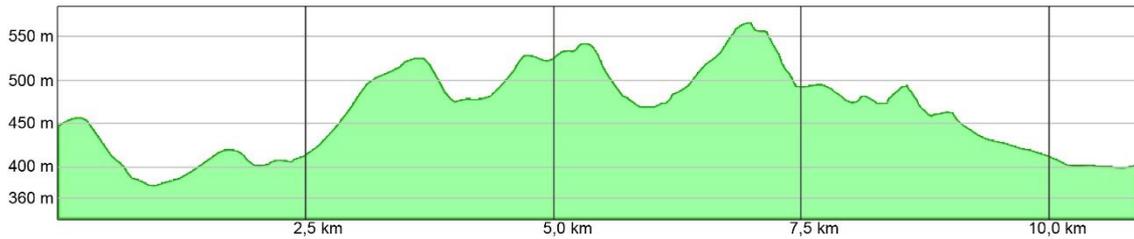
Na segunda alternativa, foi desenvolvido observando a cota do terreno mais viável possível, e desviando o máximo possível dos cursos d'água e dando prioridade a passagem da rodovia para a população de um pequeno povoado situado no trajeto, a Figura 16 apresenta uma opção favorável para o traçado horizontal, com tangentes longas e curvas suáveis. A Figura 17 exibe o perfil longitudinal deste traçado, comprovando uma topográfica mais uniformemente nivelado com uma topografia mais plana existente, favorecendo para a realização do traçado vertical geométrico da rodovia.

Figura 16 - Traçado horizontal 2ª alternativa



Fonte: Autor (2015)

Figura 17 - Perfil Longitudinal da 2ª alternativa

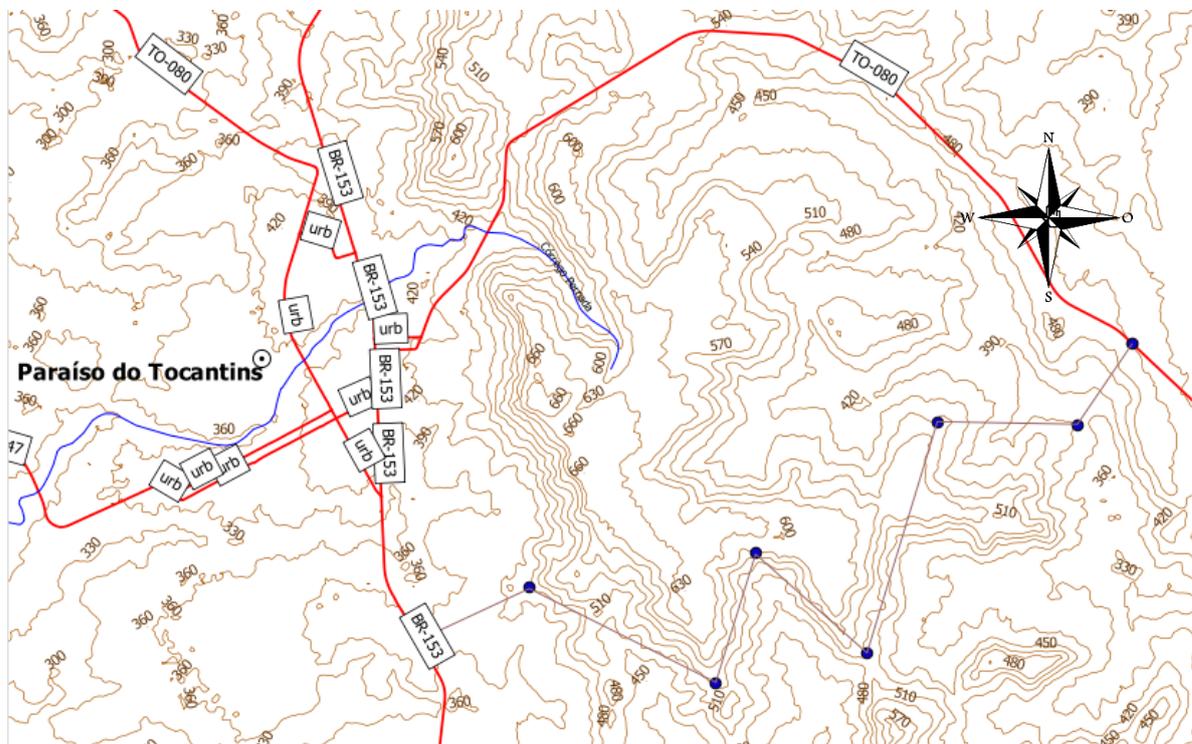


Fonte: Autor (2015)

3.5.1.3. Terceira alternativa do traçado

Na terceira alternativa que foi traçado com intuito de deixar os PIs e uma única cota, a Figura 18 apresenta uma opção desfavorável para o traçado horizontal, com muitas curvas, constituindo em algumas curvas fechadas isso apresenta o desconforto aos condutores. A Figura 19 exhibe o perfil longitudinal deste traçado, mostrando que as cotas estão variáveis, assim então desfavorecendo para a realização do traçado vertical geométrico da rodovia.

Figura 18 - Traçado horizontal 3ª alternativa



Fonte: Autor (2015)

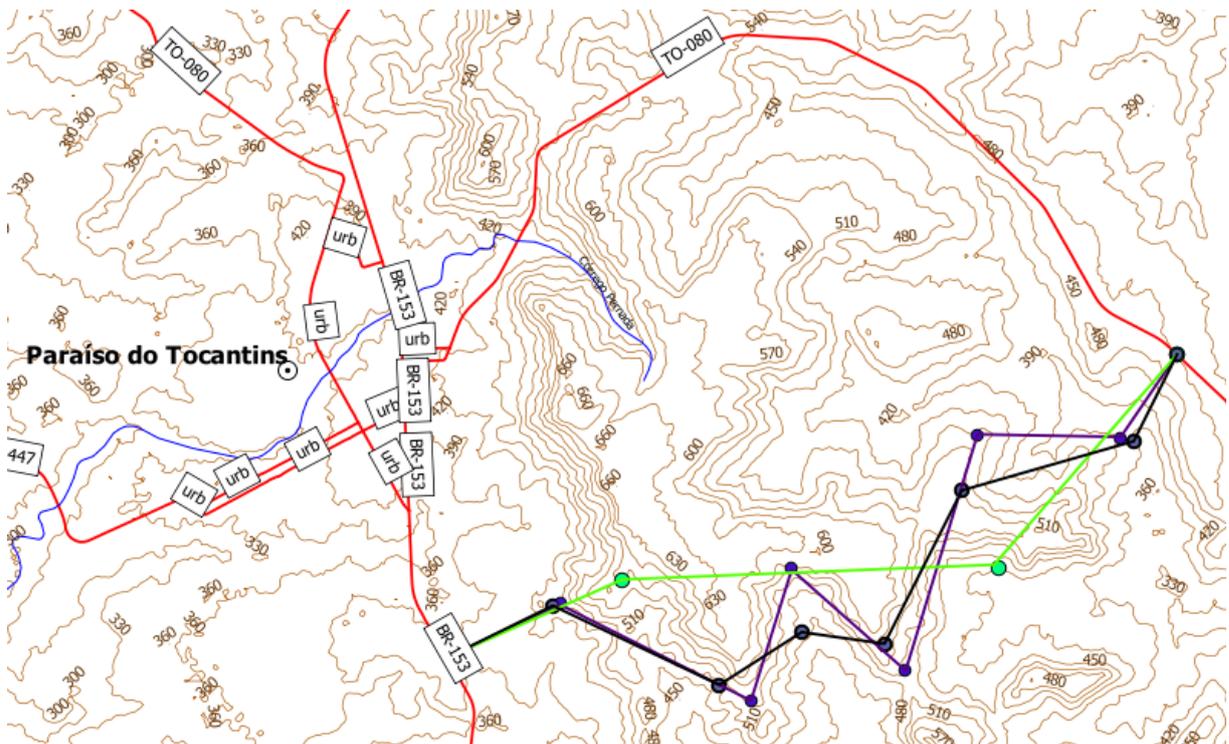
Figura 19 - Perfil Longitudinal da 3ª alternativa



Fonte: Autor (2015)

A Figura 20, apresenta um comparativo das três alternativas de traçado propostas em planta, para o melhor entendimento onde está locado os três traçados, com o ponto inicial, pontos intermediários e ponto final.

Figura 20 – As três alternativas de traçado



Fonte: Autor (2015)

O Quadro 9 apresenta um comparativo das três alternativas propostas, mostrando a distância, nível do terreno máximo e mínimo, quantidades de curvas e a principal vantagem e desvantagem da alternativa do traçado.

Quadro 9 - Comparativo dos traçados

Alternativa de traçado	Distância (km)	Nível do terreno Máx. (m) Mín. (m)	Curvas	Vantagem	Desvantagem
Primeira	9,20	628 380	2	Conforto horizontal aos motoristas por baixa quantidade de curvas.	Custo elevado pois existiria a necessidade de muito corte e aterro.
Segunda	10,71	554 384	6	Topografia favorável considerável a mais plana, com um nível de cota distribuído de maneira uniforme.	Não existe uma principal desvantagem.
Terceira	12,67	571 368	6	Não existe uma principal vantagem.	Aparecimento de curvas muito fechadas, isso consistir em desconforto aos motoristas.

Fonte: Autor (2015)

De acordo com a topografia preliminar, as informações, vantagens e desvantagens e as características de cada traçado proposto, definiu-se portanto a como a melhor opção e mais viável a **segunda alternativa** do traçado para o desenvolvimento do projeto horizontal geométrico.

3.5.2. Procedimento dos cálculos

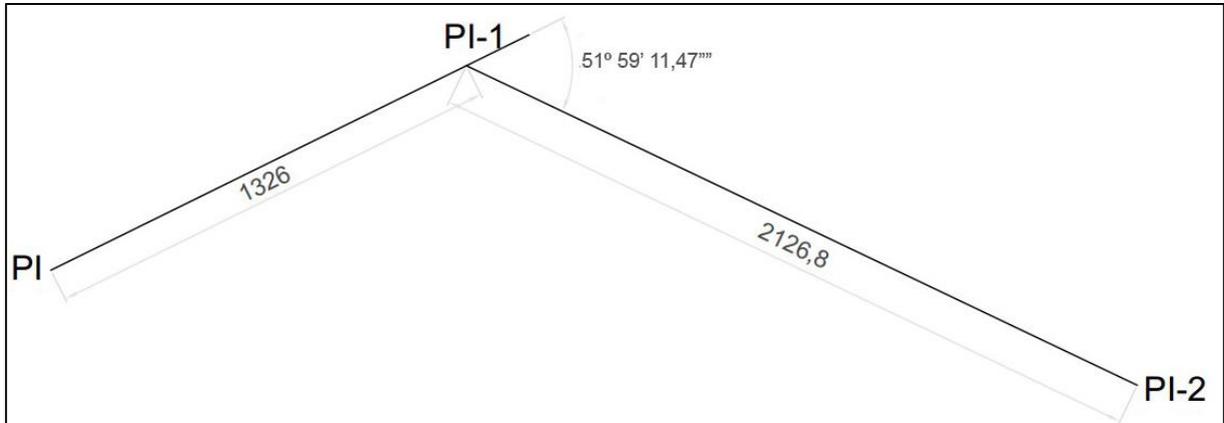
Na forma habitual, realizou o processo: a classificação das rodovias, a velocidade de projeto e veículos de projeto, em sequência decorreu com os cálculos dos raios mínimos, e depois produzi os cálculos dos elementos da curva com e sem transição, e por fim calculou-se os demais elementos, desenvolvimento e comprimentos de tangentes e tracei as curvas sobre o alinhamento. Calculou-se e organizou a caderneta de locação das deflexões das curvas.

3.5.2.1. Cálculos das curvas horizontais

O raio de cada curva devem garantir aos veículos conforto, estabilidade e segurança, ao passar por uma curva. Com o raio mínimo calculado de 229 m e de acordo com o alinhamento das tangentes, adota-se o valor do raio. Este projeto é composto por seis curvas horizontais, adotando a distância entre as estacas iguais a 20 (vinte) metros.

Utilizando a primeira curva como exemplo para fins de cálculos do projeto, usou o raio de 650 metros para a primeira curva, associando então a uma curva horizontal com transição, como apresenta o Quadro 3, segundo o DNIT com a velocidade de projeto de 80 km/h é dispensável a curva de transição acima de 1200 metros. Como apresenta a Figura 21, determina-se a deflexão das tangentes, através da subtração entre os dois azimutes das tangentes, resultando em $51^{\circ} 59' 11,47''$ e ponto de interseção um (PI-1) com estaqueamento de 66+6 m com as coordenadas $10^{\circ} 11' 30,29'' S$ e $48^{\circ} 51' 54,46'' O$.

Figura 21 - Primeira curva



Fonte: Autor (2015)

Proporcionando um roteiro de cálculos dos elementos geométricos da curva com transição, iniciando os cálculos através da Equação 11, o comprimento mínimo de transição.

$$L_{\text{min}} = 0,036 * \left(\frac{V^3}{R} \right) \rightarrow L_{\text{min}} = 0,036 * \left(\frac{80^3}{650} \right) \rightarrow L_{\text{mín}} \equiv 28,357 \text{ m}$$

Através da Equação 12, calcula-se o comprimento máximo de transição.

$$L_{sm\acute{a}x} = 2,2 * V \rightarrow L_{sm\acute{a}x} = 2,2 * 80 \rightarrow L_{sm\acute{a}x} \equiv 176 \text{ m}$$

Com equação 13, define o comprimento do trecho de transição adotado para esta primeira curva, caso o valor de 3 vezes $L_{sm\acute{i}n}$ resultar maior que o $L_{sm\acute{a}x}$, utiliza o $L_{sm\acute{a}x}$ como comprimento adotado.

$$L_s = 3 * 28,357 \text{ m} \rightarrow L_s \equiv 85,071 \text{ m} < L_{sm\acute{a}x}$$

L_s calculado de 85,07 m é menor que o $L_{sm\acute{a}x}$ de 176 m. Arredondando assim para 100 m para resultar em estacas inteiras ficando 5 estacas. Com a Equação 14 calcula o ângulo de transição.

$$\theta_s = \frac{L_s}{2 * R_c} \rightarrow \theta_s = \frac{100}{2 * 650} \rightarrow \theta_s \equiv 0,077 \text{ rad}$$

Utilizando a Equação 15, e a Equação 16, calcula a abscissa e a ordenada dos pontos SC (espiral-circular) e CS (circular-espiral).

$$X_s = L_s * \left(1 - \frac{\theta_s^2}{10} + \frac{\theta_s^4}{216} \right) \rightarrow X_s = 100 * \left(1 - \frac{0,077^2}{10} + \frac{0,077^4}{216} \right) \rightarrow X_s \equiv 99,941 \text{ m}$$

$$Y_s = L_s * \left(\frac{\theta_s}{3} - \frac{\theta_s^3}{42} \right) \rightarrow Y_s = 100 * \left(\frac{0,077}{3} - \frac{0,077^3}{42} \right) \rightarrow Y_s \equiv 2,563 \text{ m}$$

Equação 17, ângulo central do trecho circular

$$\Phi = \Delta - 2 * \theta_s \rightarrow \Phi = \left(52^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} \right) - 2 * 0,077 \rightarrow \Phi \equiv 0,754 \text{ rad}$$

Equação 18, desenvolvimento do trecho circular

$$D = R_c * \phi \rightarrow D = 650 * 0,754 \rightarrow D \equiv 490,10 \text{ m}$$

Equação 19, abscissa do centro do trecho circular afastado

$$k = X_s - (R_c * \text{sen}\theta_s) \rightarrow k = 99,941 - (650 * \text{sen}0,077) \rightarrow k \equiv 49,990 \text{ m}$$

Equação 20, afastamento da curva circular

$$p = Y_s - R_c * (1 - \cos\theta_s) \rightarrow p = 2,563 - 650 * (1 - \cos 0,077) \rightarrow p \equiv 0,641 \text{ m}$$

Equação 21, tangente total

$$TT = k + (R_c + p) * \tan\left(\frac{AC}{2}\right) \rightarrow TT = 49,99 + (650 + 0,641) * \tan\left(\frac{52}{2}\right) \rightarrow TT \equiv 367,33 \text{ m}$$

3.5.2.2. Estaqueamento da primeira curva

É realizado o estaqueamento do projeto, a cada 20 metros recomendado pelo o DNIT, no Quadro 10, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado.

Quadro 10 - Pontos notáveis do estaqueamento

TS-1	SC-1	CS-1	ST-1
Est. 47 + 18,67	Est. 52 + 18,67	Est. 77 + 8,77	Est. 82 + 8,77

Fonte: Autor (2015)

3.5.2.3. Locação da curva de transição (primeira curva)

Logo em sequência organiza-se uma caderneta de locação de curva circular com transição, segue um roteiro de cálculo utilizando a Equação 22 para o ângulo de transição, a Equação 23 para abscissa de um ponto genérico A, Equação 24 para ordenada de um ponto genérico A e a Equação 25 para o ângulo deflexão.

$$\theta_s = \frac{L^2}{2 * R_c * L_s} \rightarrow \theta_s = \frac{(20 - 18,67)^2}{2 * 650 * 100} \rightarrow \theta_s \equiv 0,000015 \text{ rad}$$

$$X = L * \left(1 - \frac{\theta_s^2}{10} + \frac{\theta_s^4}{216}\right) \rightarrow X = 1,38 * \left(1 - \frac{0,000015^2}{10} + \frac{0,000015^4}{216}\right) \rightarrow X \equiv 1,38 \text{ m}$$

$$Y = L * \left(\frac{\theta_s}{3} - \frac{\theta_s^3}{42}\right) \rightarrow Y = 1,38 * \left(\frac{0,000015}{3} - \frac{0,000015^3}{42}\right) \rightarrow Y \equiv 0,000007$$

$$i = \arctang\left(\frac{Y}{X}\right) \rightarrow i = \arctang\left(\frac{0,000007}{1,38}\right) \rightarrow i \equiv 0^{\circ}0'1,05''$$

Repetindo os mesmos cálculos para todas as estacas, e desenvolvendo a caderneta da curva circular com transição baseado com a sugerido por Pontes Filho, como mostra o quadro em anexo.

3.5.2.4. Locação da curva circular (primeira curva)

Inserem-se na caderneta de locação, as deflexões da curva circular, e utiliza para realização dos cálculos a equação 7 para encontrar o grau da estaca de 20 m, a equação 8 para a primeira deflexão sucessiva, equação 9 para a última deflexão sucessiva, e finalizando com a Equação 10 para as demais deflexões. Montando então a tabela de locação da curva circular baseado com a proposto por Pontes Filho, como mostra o quadro em anexo.

$$G20 = \frac{1145,95}{R} \rightarrow G20 = \frac{1145,95}{650} \rightarrow G20 = 1,763^{\circ}$$

$$ds^1 = (20 - a) * \left(\frac{G}{2C}\right) \rightarrow ds^1 = (20 - 18,67) * \left(\frac{1,763^{\circ}}{2 * 20}\right) \rightarrow ds^1 \equiv 0^{\circ}3'39''$$

$$dsPT = b * \left(\frac{G}{2C}\right) \rightarrow dsPT = 8,77 * \left(\frac{1,763^{\circ}}{2 * 20}\right) \rightarrow dsPT = 0^{\circ}23'11''$$

$$ds = d = \left(\frac{G}{2}\right) \rightarrow d = \left(\frac{1,763^{\circ}}{2}\right) \rightarrow d = 0^{\circ}52'53''$$

3.5.2.5. Superelevação (primeira curva)

Com todos os elementos da curva já definido, e seus estaqueamentos prontos, calcula-se a parte de superelevação da curva, com o valor do raio 650 metros desta curva é abaixo do valor dispensável de 3200m, que é o proposto pelo o DNER constituído no Quadro 7.

Com uma inclinação da pista de 3% recomendado pelo o DNIT, a largura da pista de 7,00 metros recomendada pelo DERTINS, o comprimento do trecho de transição adotado de 100 metros, o raio mínimo de 229 metros, e o emáx de 8%. Calcula a superelevação adotada utilizando a Equação 27.

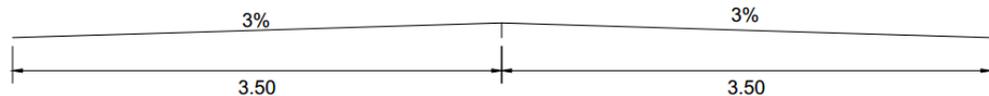
$$e = emáx * \left(\frac{2 * Rmin}{Rp} - \frac{Rmin^2}{Rp^2} \right) \rightarrow e = 8\% * \left(\frac{2 * 229}{650} - \frac{229^2}{650^2} \right) \rightarrow e = 4,64\%$$

3.5.2.6. Superlargura (primeira curva)

De acordo com o manual do DNIT, nesta curva é necessário a superlargura, pois de acordo com o valor do raio de 650 m e a velocidade de 80km/h, o Quadro 8 mostra o valor da superlargura para projeto de 0,30 metros.

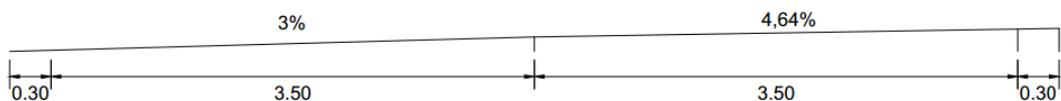
Com isto é possível perceber no corte da rodovia a diferença no perfil transversal, da rodovia normal (Figura 22), e a rodovia em curva com superelevação e superlargura (Figura 23).

Figura 22 - Perfil transversal da rodovia



Fonte: Autor (2015)

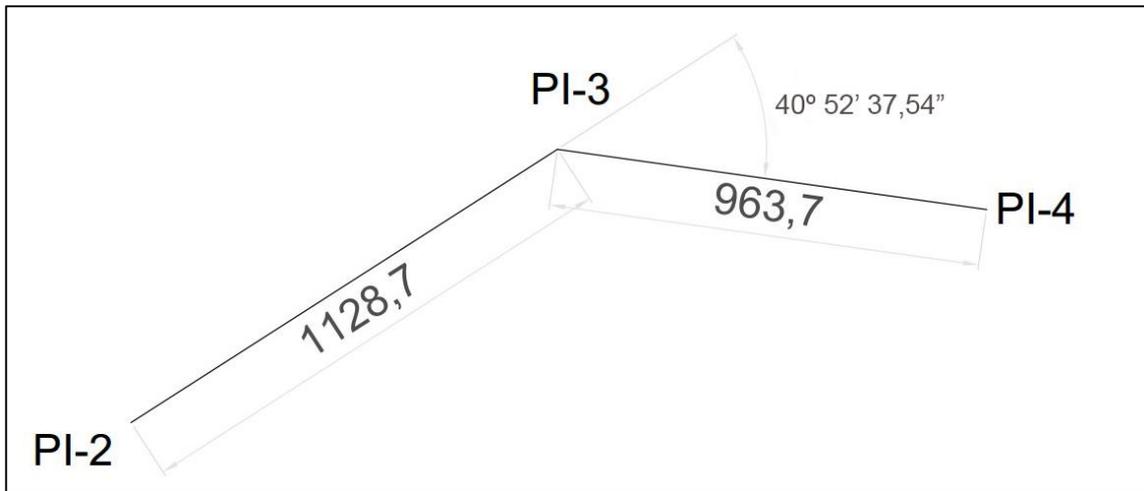
Figura 23 – Perfil transversal da rodovia com superelevação e superlargura



Fonte: Autor (2015)

Foi realizado os mesmos procedimentos de cálculos para as seguintes curvas, exceto a curva 3 que resultou em uma curva circular simples, a Figura 24, mostra a deflexão da tangente encontrado de 40,88° e ponto de interseção 3 (PI-3) com as coordenadas 10°11'40.37"S e 48°50'20.16"O.

Figura 24 - Terceira curva



Fonte: Autor (2015)

Usando o raio de 1250 metros para esta terceira curva, associando então a uma curva horizontal sem transição, como apresenta o Quadro 3 no referencial, segundo o DNIT com a velocidade de projeto de 80 km/h é dispensável a curva de transição acima de 1200 m. Proporcionando um roteiro de cálculos dos elementos geométricos da curva simples, iniciando os cálculos através da Equação 1, o comprimento da tangente externa.

$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \rightarrow T = 1250 * \tan\left(\frac{40,88^\circ}{2}\right) \rightarrow T \equiv 465,86\text{m}$$

Calculando o afastamento ou flecha da curva, utilizando a equação 2.

$$e = T * \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right) \rightarrow e = 465,86 * \tan\left(\frac{40,88^\circ}{4}\right) \rightarrow e \equiv 83,99\text{m}$$

Utilizando a equação 3, para calcular o desenvolvimento da curva.

$$D_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180^\circ} \rightarrow D_c = \frac{\pi * 1250 * 40,88^\circ}{180^\circ} \rightarrow D_c \equiv 891,86\text{m}$$

3.5.2.7. Estaqueamento da terceira curva

No Quadro 11, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado, como é curvar circular simples é somente o ponto de concordância horizontal (PC) e ponto de tangência (PT), dando sequência com o estaqueamento da curva anterior, com o ST-2 com 186 estacas + 14,42 metros.

Quadro 11 - Pontos notáveis do estaqueamento

PC	PT
Est. 200 + 11,24	Est. 245 + 3,10

Fonte: Autor (2015)

3.5.2.8. Locação da curva circular (terceira curva)

Prosseguindo com os cálculos, desenvolveu-se a caderneta de locação de curva circular simples, utilizando o roteiro de cálculos. Utilizando a Equação 7 para encontrar o grau da estaca de 20 m, a Equação 8 para a primeira deflexão sucessiva, Equação 9 para a última deflexão sucessiva, e finalizando com a Equação 10 para as demais deflexões. Montando então a tabela de locação da curva circular como mostra o quadro em anexo.

$$G20 = \frac{1145,95}{R} \rightarrow G20 = \frac{1145,95}{1250} \rightarrow G20 = 0,92^\circ$$

$$ds^1 = (20 - a) * \left(\frac{G}{2C}\right) \rightarrow ds^1 = (20 - 11,24) * \left(\frac{0,92^\circ}{2 * 20}\right) \rightarrow ds^1 \equiv 0^\circ 51' 13''$$

$$dsPT = b * \left(\frac{G}{2C}\right) \rightarrow dsPT = 3,10 * \left(\frac{0,92^\circ}{2 * 20}\right) \rightarrow dsPT = 0^\circ 41' 36''$$

$$ds = d = \left(\frac{G}{2}\right) \rightarrow d = \left(\frac{1,763^\circ}{2}\right) \rightarrow d = 0^\circ 57' 18''$$

3.5.2.9. Superelevação (terceira curva)

O valor do raio 1250 metros desta curva de é abaixo do valor dispensável de 3200m, que é o proposto pelo o DNER constituído no Quadro 7. Com uma inclinação da pista de 3% recomendado pelo o DNIT, a largura da pista de 7,00 metros recomendada pelo DERTINS, o raio mínimo de 229 metros, e o emáx de 8%. Calcula a superelevação adotada utilizando a Equação 27.

$$e = emáx * \left(\frac{2 * Rmin}{Rp} - \frac{Rmin^2}{Rp^2} \right) \rightarrow e = 8\% * \left(\frac{2 * 229}{1250} - \frac{229^2}{1250^2} \right) \rightarrow e = 2,76\%$$

3.5.2.10. Superlargura (terceira curva)

De acordo com o manual do DNER mostrado no Quadro 8, nesta curva é dispensável a superlagura, pois com o valor do raio de 1250m é superior a 1000m.

3.5.3. **Desenho do projeto horizontal**

O projeto foi desenvolvido manualmente, porém com auxílio do QGis, Google Maps, e desenvolvido o projeto do traçado horizontal geométrico no AutoCAD projetando o alinhamento horizontal. E finalizando demonstrando o projeto como todos os seus traços, curvas e todos os seus elementos que está disponível em anexos 4 pranchas do projeto horizontal geométrico de rodovias, desenvolvido todos seus elementos precisos para aprovação, onde o trevo de entrada e saída da nova rodovia foi só representativo no projeto, onde não foi realizado nenhum tipo de projeto específico para o trevo, e a linha da faixa de domínio locada com 50 metros para um lado e 30 para o outro pensando em uma possível duplicação da rodovia futuramente.

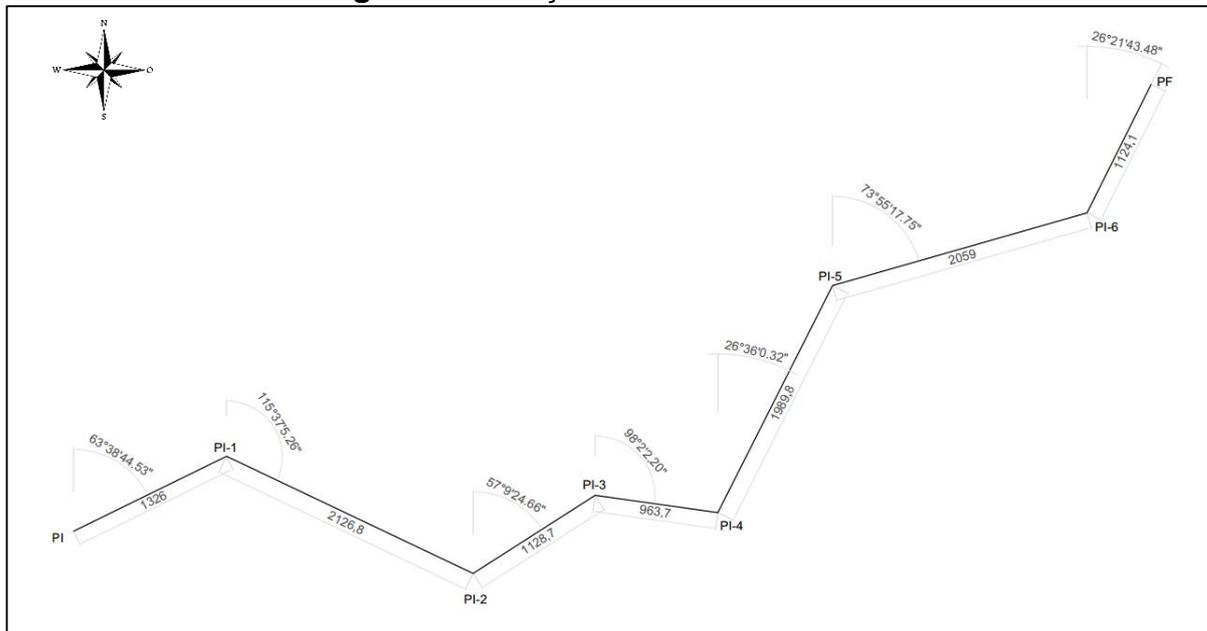
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Definição do traçado horizontal geométrico

Aparentemente, a melhor solução para a ligação de dois pontos por meio de uma rodovia consiste em seguir a diretriz alinhada. Isto seria possível se não houvesse entre estes dois pontos nenhum obstáculo ou ponto de interesse que forçasse a desviar a estrada de seu traçado ideal. Por não ser possível uma reta entre os dois pontos, foi proposto 3 alternativas, e escolhida a mais viável para o desenvolvimento do projeto horizontal geométrico.

Foi escolhido a segunda alternativa para o projeto, a Figura 25 apresenta o traçado com um conjunto de alinhamentos retos em metros totalizando aproximadamente 10,71 km do ponto inicial ao ponto final passando pelos pontos intermediários, e os azimutes de cada tangente do traçado, resultando portanto para os cálculos 6 curvas horizontais.

Figura 25 - Traçado com as dimensões



Fonte: Autor (2015)

O Quadro 12 a seguir exibe o estaqueamento e as coordenadas do ponto inicial, dos pontos de interseção e do ponto final de 20 metros cada estaca.

Quadro 12 - Estaqueamento e coordenadas nos PIs

PIs	Estacas	Coordenadas (Lat./Long.)
PI	0 + 0,00	10° 09'54,70"S e 48°47'58,42"O
PI-1	66 + 6,00 m	10°11'30.29"S e 48°51'54.46"O
PI-2	172 + 12,80 m	10°12'0.52"S e 48°50'51.46"O
PI-3	229 + 1,50 m	10°11'40.37"S e 48°50'20.16"O
PI-4	277 + 5,20 m	10°11'44.95"S e 48°49'48.99"O
PI-5	376 + 15,00 m	10°10'46.48"S e 48°49'19.79"O
PI-6	479 + 14,00 m	10°10'27.72"S e 48°48'14.53"O
PF	535 + 18,10 m	10° 9'54,70"S e 48°47'58,42"O

Fonte: Autor (2015)

4.2. Classificação da rodovia

Conforme informações Departamento de Estrada de Rodagem do Tocantins (DERTINS) o VMD da rodovia TO-080 é cerca de aproximadamente 1000 veículos, com isso a estimativa para a utilização da nova rodovia fica entorno um VMD de 500 veículos, portanto para a classificação desse novo trecho fica como **classe III**, rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfico em 10 anos compreendido entre os limites de $700 > \text{VMD} \geq 300$ veículos operando em duas direções.

4.3. Velocidade de projeto

Com a classificação da rodovia definida, é possível identificar a velocidade de projeto em km/h por características de região. A característica do local estudado é denominada por região com uma topografia plana. E de acordo com o DNIT apresentado no Quadro 1 a velocidade de projeto para esta rodovia é de **80 km/h**.

4.4. Veículos de projeto

No projeto de rodovias, é necessário definir o veículo para projeto, e o mais usual e utilizado para projetos geométricos rodoviários federais e estaduais é o **veículo CO**, veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples, incluem os caminhões e ônibus convencionais habitualmente de 2 eixos e 6 rodas.

4.5. Raio mínimo de curva horizontal

É o menor raio da curva que pode ser utilizada em projeto visando as condições aceitáveis de segurança e conforto de viagem, utilizando a velocidade de projeto de 80 km/h, a taxa máxima de superelevação admissível de 8% de acordo com o quadro 7, e o coeficiente f_{\max} de 0,14 conforme o quadro 5.

Utilizando, portanto a Equação 26 encontra-se o raio mínimo para as curvas de projeto.

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 * (e_{\max} + f_{\max})} \rightarrow R_{\min} = \frac{80^2}{127 * (0,08 + 0,14)} \rightarrow R_{\min} \equiv \mathbf{229 \text{ m}}$$

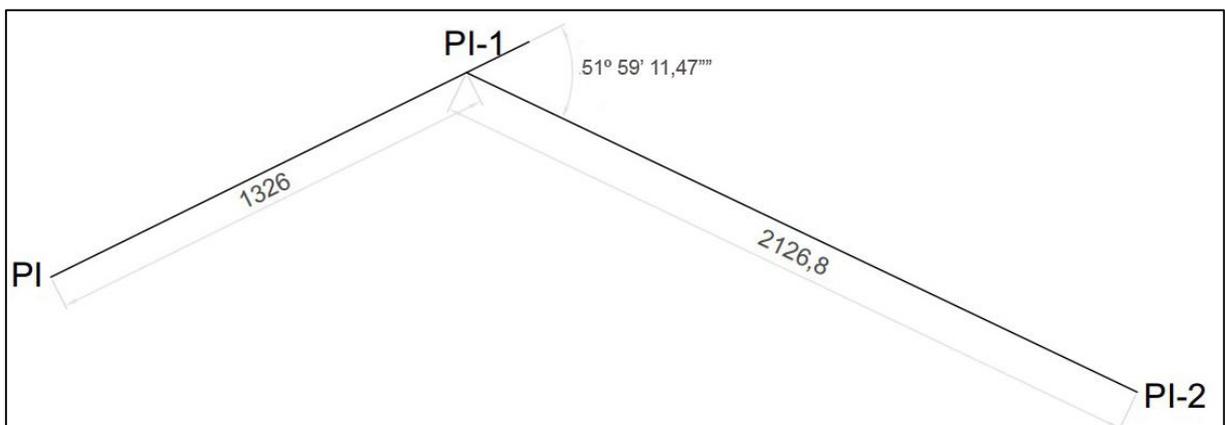
4.6. Cálculos das curvas horizontais

O raio de cada curva devem garantir aos veículos conforto, estabilidade e segurança, ao passar por uma curva. Com o raio mínimo calculado de 229 m e de acordo com o alinhamento das tangentes, adota-se o valor do raio. Este projeto é composto por seis curvas horizontais, adotando a distância entre as estacas iguais a 20 (vinte) metros.

4.6.1. Primeira curva

A figura 26 e o quadro 13 apresenta o resultado obtidos da primeira curva.

Figura 26 - Primeira curva



Fonte: Autor (2015)

Quadro 13 - Elementos geométrico da segunda curva com transição

Raio	650 m	X_s (Abscissa dos pontos SC e CS)	99,94 m
Δ (Deflexão das tangentes)	52,00°	Y_s (Ordenada dos pontos SC e CS)	2,56 m
$L_{smín}$	18,36 m	ϕ (Ângulo central do trecho circular)	0,754 rad
$L_{smáx}$	176 m	D (Desenvolvimento do trecho circular)	490,10 m
L_s	85,07 m	K (Abscissa do centro O')	49,99 m
L_s adotado	100 m = 5 estacas	ρ (Afastamento da curva circular)	0,641 m
θ_s (Ângulo de transição)	0,077 rad	TT	367,33 m

Fonte: Autor (2015)

4.6.1.1. Estaqueamento da primeira curva

No Quadro 14, apresenta o resultado da locação do estaqueamento.

Quadro 14 - Pontos notáveis do estaqueamento

TS-1	SC-1	CS-1	ST-1
Est. 47 + 18,67	Est. 52 + 18,67	Est. 77 + 8,77	Est. 82 + 8,77

Fonte: Autor (2015)

4.6.1.2. Locação da curva de transição

Logo em sequência organiza-se uma caderneta de locação de curva circular com transição, realizando um roteiro de cálculo que resultou no quadro contido em anexo.

4.6.1.3. Locação da curva circular

Inserem-se na caderneta de locação, a deflexão da curva circular realiza-se um roteiro de cálculo que resultou no quadro mostrado em anexo.

4.6.1.4. Superelevação

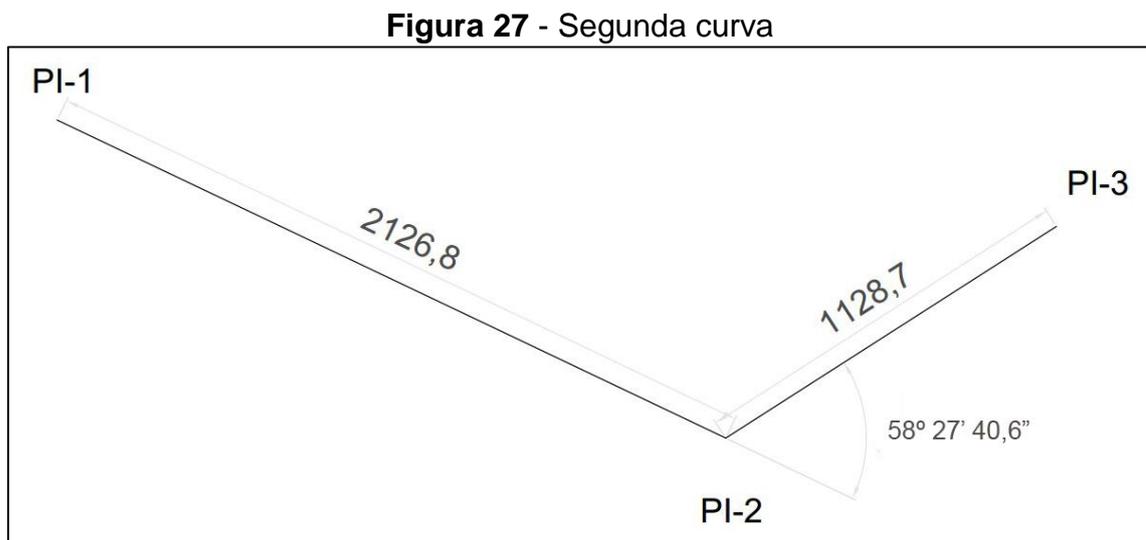
A superelevação para esta curva resultou-se **4,64%**, é admissível pois é menor que o máximo de 8% e maior que o mínimo de 3%, se tivesse dado valor maior que o máximo, precisaria aumento o raio de projeto, e realizar todo processo de cálculos novamente, se resulta-se abaixo de 3% adotaria o mínimo para a utilização do projeto.

4.6.1.5. Superlargura

A superlargura resultou-se **0,30 metros** para a utilização do projeto horizontal geométrico.

4.6.2. Segunda curva

Como apresenta a Figura 27, a deflexão da tangente encontrada é de $58^{\circ} 27' 40,6''$ e ponto de interseção 2 (PI-2) com as coordenadas $10^{\circ}12'0.52''S$ e $48^{\circ}50'51.46''O$.



Fonte: Autor (2015)

Para a segunda curva adotou-se o raio de 600 metros, e utilizando o mesmo roteiro de cálculos para encontrar todos os elementos geométricos da curva com transição, que resultando nos valores aproximados exibidos no Quadro 15 a seguir.

Quadro 15 - Elementos geométrico da segunda curva com transição

Raio	600 m	X_s (Abscissa dos pontos SC e CS)	99,931 m
Δ (Deflexão das tangentes)	58,46°	Y_s (Ordenada dos pontos SC e CS)	2,776 m
L_{smin}	30,72 m	ϕ (Ângulo central do trecho circular)	0,854 rad
$L_{smáx}$	176 m	D (Desenvolvimento do trecho circular)	512,40 m
L_s	92,16 m	K (Abscissa do centro O')	49,988 m
L_s adotado	100 m = 5 estacas	ρ (Afastamento da curva circular)	0,694 m
θ_s (Ângulo de transição)	0,083 rad	TT	386,12 m

Fonte: Autor (2015)

4.6.2.1. Estaqueamento da segunda curva

No Quadro 16, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado, dando sequência com o estaqueamento da curva anterior, com o ST-1 com 82 estacas + 8,77 metros.

Quadro 16 - Pontos notáveis do estaqueamento

TS-2	SC-2	CS-2	ST-2
Est. 151 + 2,12	Est. 156 + 2,12	Est. 181 + 14,52	Est. 186 + 14,52

Fonte: Autor (2015)

4.6.2.2. Locação da curva de transição

Prosseguindo com os cálculos, desenvolvendo a caderneta de locação de curva circular com transição, utilizando o mesmo roteiro de cálculos da primeira curva. Resultando como os seguintes valores no quando em anexo.

4.6.2.3. Locação da curva circular

Inserir-se na caderneta de locação, as deflexões da curva circular. E utiliza o mesmo roteiro de cálculos da curva anterior. Montando então a tabela de locação da curva circular como mostra o quadro em anexo.

4.6.2.4. Superelevação

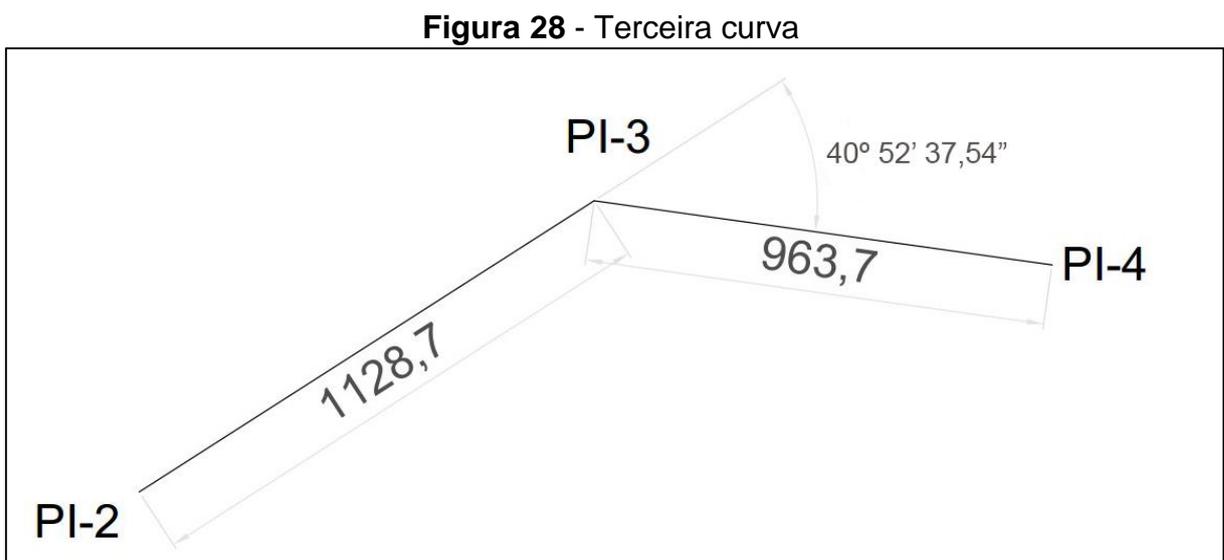
Resultou-se **4,94%**, é admissível pois é menor que o máximo de 8% e maior que o mínimo de 3%.

4.6.2.5. Superlargura

A superlargura resultou-se **0,40 metros** para a utilização do projeto horizontal geométrico.

4.6.3. Terceira curva

A Figura 28, mostra a deflexão da tangente encontrado de $40^{\circ} 52' 37,54''$ e ponto de interseção 3 (PI-3) com as coordenadas $10^{\circ}11'40.37''S$ e $48^{\circ}50'20.16''O$.



Fonte: Autor (2015)

Usando o raio de 1250 metros para esta terceira curva realizou-se um roteiro de cálculo, que resultou nos elementos da curva apresentada no Quadro 17.

Quadro 17 - Elementos geométrico da terceira curva

Raio	1250 m
Δ (Deflexão das tangentes)	40,88°
T	465,86 m
e	83,99 m
Dc	891,86

Fonte: Autor (2015)

4.6.3.1. Estaqueamento da terceira curva

No Quadro 18, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado, como é curvar circular simples é somente o ponto de concordância horizontal (PC) e ponto de tangência (PT), dando sequência com o estaqueamento da curva anterior, com o ST-2 com 186 estacas + 14,42 metros.

Quadro 18 - Pontos notáveis do estaqueamento

PC	PT
Est. 200 + 11,24	Est. 245 + 3,10

Fonte: Autor (2015)

4.6.3.2. Locação da curva circular

Prosseguindo com os cálculos, desenvolveu-se a caderneta de locação de curva circular simples, utilizando o roteiro de cálculos resultando no quadro em anexo.

4.6.3.3. Superelevação

Resultou-se **2,76%**, é inaceitável pois é menor que o mínimo de 3%, como resultou abaixo de 3% adota o mínimo para a utilização do projeto, resultando em **3%** para esta curva na utilização no projeto.

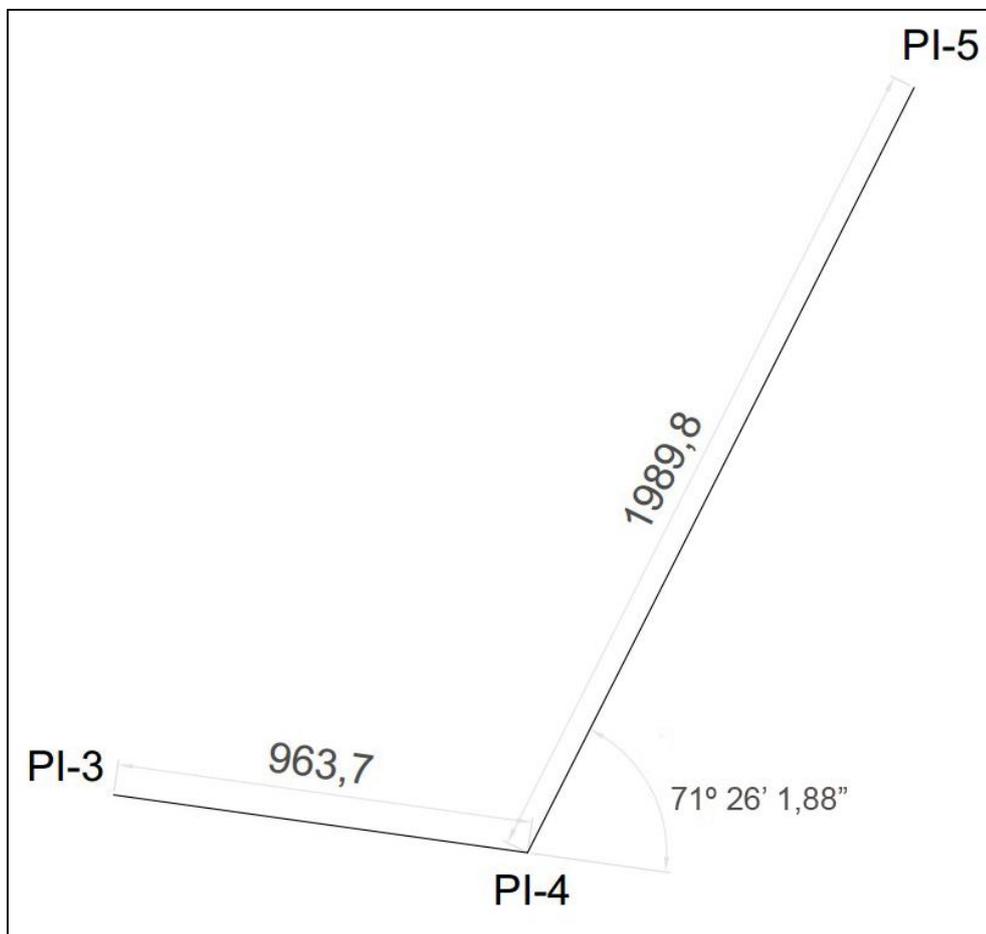
4.6.3.4. Superlargura

De acordo com o manual do DNER mostrado no Quadro 8, nesta curva é dispensável a superlargura, pois com o valor do raio de 1250m é superior a 1000m.

4.6.4. Quarta curva

A Figura 29 mostra a deflexão da tangente encontrado de $71^{\circ} 26' 1,88''$ e ponto de interseção 4 (PI-4) com as coordenadas $10^{\circ}11'44.95''S$ e $48^{\circ}49'48.99''O$.

Figura 29 - Quarta curva



Fonte: Autor (2015)

Para a quarta curva adotou-se o raio de 500 metros, e utilizando o mesmo roteiro de cálculos para encontrar todos os elementos geométricos da curva com transição, que resultou nos valores aproximados exibidos no Quadro 19 a seguir.

Quadro 19 - Elementos geométrico da quarta curva com transição

Raio	500 m	X_s (Abscissa dos pontos SC e CS)	119,827 m
Δ (Deflexão das tangentes)	71,43°	Y_s (Ordenada dos pontos SC e CS)	4,795 m
Lsmin	36,864 m	ϕ (Ângulo central do trecho circular)	1,007 rad
Lsmáx	176 m	D (Desenvolvimento do trecho circular)	503,50 m
Ls	110,592 m	K (Abscissa do centro O')	59,971 m
Ls adotado	120 m = 6 estacas	ρ (Afastamento da curva circular)	1,199 m
θ_s (Ângulo de transição)	0,12 rad	TT	420,32 m

Fonte: Autor (2015)

4.6.4.1. Estaqueamento da quarta curva

No Quadro 20, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado, dando sequência com o estaqueamento da curva anterior, com o PT-3 245 estacas + 3,10 metros.

Quadro 20 - Pontos notáveis do estaqueamento

TS-4	SC-4	CS-4	ST-4
Est. 249 + 0,62	Est. 255 + 0,62	Est. 280 + 4,12	Est. 286 + 4,12

Fonte: Autor (2015)

4.6.4.2. Locação da curva de transição

Prosseguindo com os cálculos, desenvolvendo a caderneta de locação de curva circular com transição, utilizando o mesmo roteiro de cálculos da primeira curva. Resultando como os seguintes valores contido no quadro em anexo.

4.6.4.3. Locação da curva circular

Inserir-se na caderneta de locação, as deflexões da curva circular. E utiliza o mesmo roteiro de cálculos da curva anterior. Montando então a tabela de locação da curva circular como apresenta o quadro em anexo.

4.6.4.4. Supeelevação

Resultou-se **5,65%**, é admissível pois é menor que o máximo e maior que o mínimo.

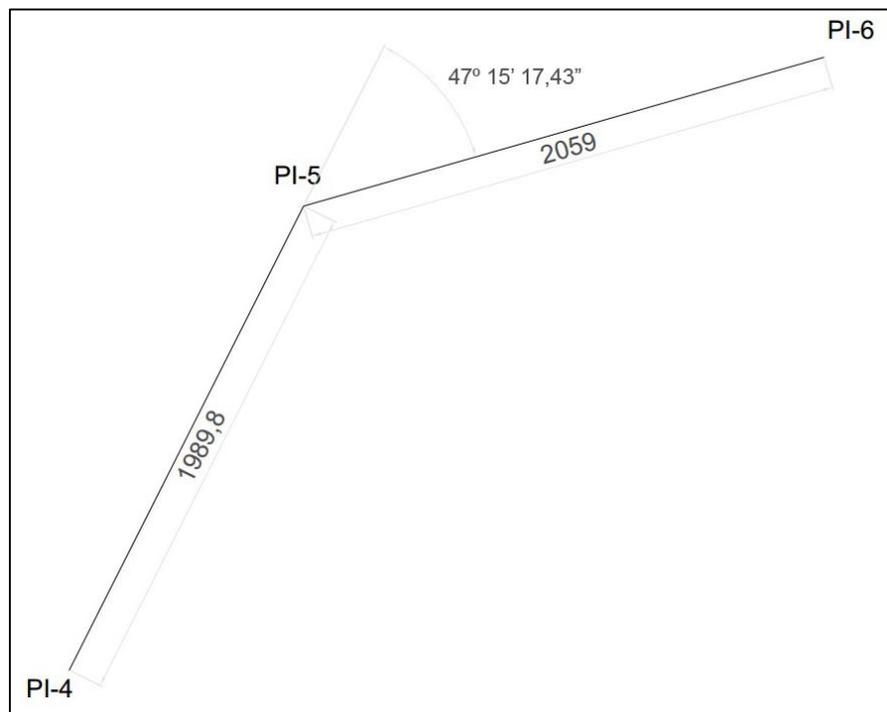
4.6.4.5. Superlargura

A superlargura resultou-se **0,40 metros** para a utilização do projeto horizontal geométrico.

4.6.5. Quinta curva

A Figura 30, mostra a deflexão da tangente encontrado de $47^{\circ} 15' 17,43''$ e ponto de interseção 5 (PI-5) com as coordenadas $10^{\circ}10'46.48''S$ e $48^{\circ}49'19.79''O$.

Figura 30 - Quinta curva



Fonte: Autor (2015)

Para a quinta curva adotou-se o raio de 700 metros, e utilizando o mesmo roteiro de cálculos para encontrar todos os elementos geométricos da curva com transição, que resultou nos valores aproximados exibidos no Quadro 21 a seguir.

Quadro 21 - Elementos geométrico da quarta curva com transição

Raio	700 m	Xs (Abscissa dos pontos SC e CS)	79,974 m
Δ (Deflexão das tangentes)	47,32°	Ys (Ordenada dos pontos SC e CS)	1,523 m
Lsmin	26,33 m	ϕ (Ângulo central do trecho circular)	0,712 rad
Lsmáx	176 m	D (Desenvolvimento do trecho circular)	498,12 m
Ls	78,99 m	K (Abscissa do centro O')	39,996 m
Ls adotado	80 m = 4 estacas	ρ (Afastamento da curva circular)	0,381 m
θ_s (Ângulo de transição)	0,057 rad	TT	346,90 m

Fonte: Autor (2015)

4.6.5.1. Estaqueamento da quinta curva

No Quadro 22, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado, dando sequência com o estaqueamento da curva anterior, com o ST-4 286 estacas + 4,12 metros.

Quadro 22 - Pontos notáveis do estaqueamento

TS-5	SC-5	CS-5	ST-5
Est. 347 + 6,74	Est. 351 + 6,74	Est. 376 + 4,86	Est. 380 + 4,86

Fonte: Autor (2015)

4.6.5.2. Locação da curva de transição

Prosseguindo com os cálculos, desenvolvendo a caderneta de locação de curva circular com transição, utilizando o mesmo roteiro de cálculos da primeira curva. Resultando como os seguintes valores contido no quadro em anexo.

4.6.5.3. Locação da curva circular

Inserir-se na caderneta de locação, as deflexões da curva circular. E utiliza o mesmo roteiro de cálculos da curva anterior. Montando então a tabela de locação da curva circular como mostra o quadro em anexo.

4.6.5.4. Superelevação

Resultou-se **4,38%**, é admissível pois é menor que o máximo de 8% e maior que o mínimo de 3%.

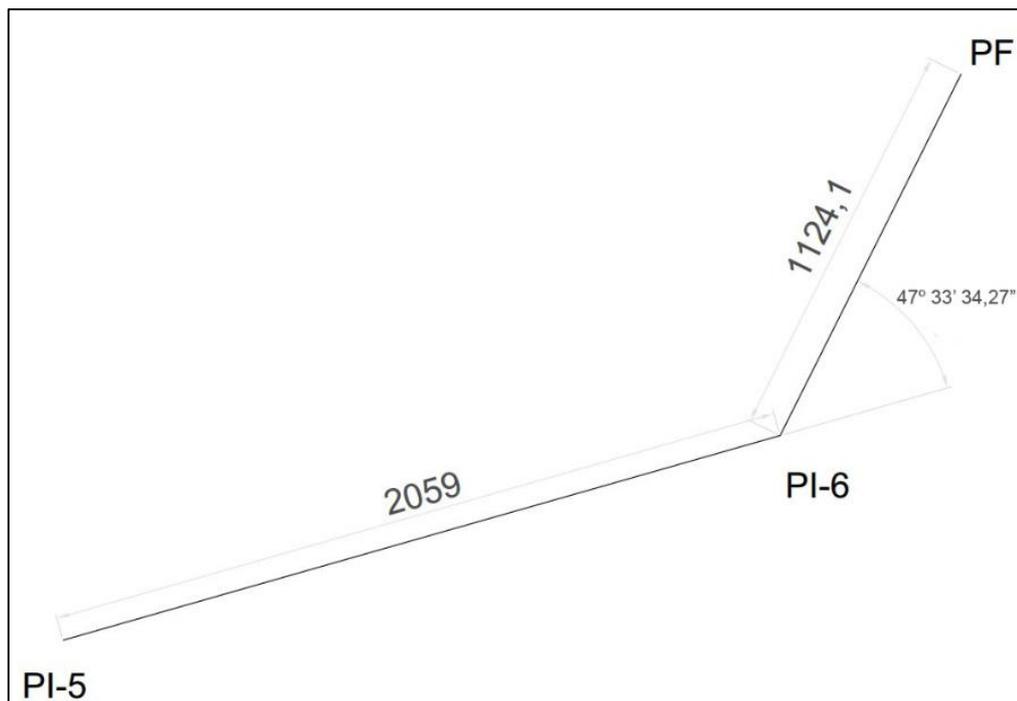
4.6.5.5. Superlargura

A superlargura resultou-se **0,30 metros** para a utilização do projeto horizontal geométrico.

4.6.6. Sexta curva

A Figura 31, mostra a deflexão da tangente encontrado de $47^{\circ}33'34,27''$ e ponto de interseção 6 (PI-6) com as coordenadas $10^{\circ}10'27.72''S$ e $48^{\circ}48'14.53''O$.

Figura 31 - Sexta curva



Fonte: Autor (2015)

Para a sexta curva adotou-se o raio de 650 metros, e utilizando o mesmo roteiro de cálculos para encontrar todos os elementos geométricos da curva com transição, que resultou nos valores aproximados exibidos no Quadro 23 a seguir.

Quadro 23 - Elementos geométrico da quarta curva com transição

Raio	650 m	X_s (Abscissa dos pontos SC e CS)	99,941 m
Δ (Deflexão das tangentes)	47,56°	Y_s (Ordenada dos pontos SC e CS)	2,563 m
L_{smin}	28,357 m	ϕ (Ângulo central do trecho circular)	0,676 rad
$L_{smáx}$	176 m	D (Desenvolvimento do trecho circular)	439,40 m
L_s	85,071 m	K (Abscissa do centro O')	49,990 m
L_s adotado	100 m = 5 estacas	ρ (Afastamento da curva circular)	0,641 m
θ_s (Ângulo de transição)	0,077 rad	TT	336,69 m

Fonte: Autor (2015)

4.6.6.1. Estaqueamento da sexta curva

No Quadro 24, apresenta o estaqueamento dos pontos notáveis do traçado, dando sequência com o estaqueamento da curva anterior, com o ST-5 380 estacas + 4,86 metros.

Quadro 24 - Pontos notáveis do estaqueamento

TS-6	SC-6	CS-6	ST-6
Est. 449 + 0,31	Est. 454 est + 0,31	Est. 475 + 19,71	Est. 480 + 19,71

Fonte: Autor (2015)

4.6.6.2. Locação da curva de transição

Prosseguindo com os cálculos, desenvolvendo a caderneta de locação de curva circular com transição, utilizando o mesmo roteiro de cálculos da primeira curva. Resultando como os seguintes valores contido no quadro em anexo.

4.6.6.3. Locação da curva circular

Inserir-se na caderneta de locação, as deflexões da curva circular. E utiliza o mesmo roteiro de cálculos da curva anterior. Montando então a tabela de locação da curva circular como mostra em anexo.

4.6.6.4. Superelevação

Resultou-se **4,94%**, é admissível pois é menor que o máximo de 8% e maior que o mínimo de 3%.

4.6.6.5. Superlargura

A superlargura resultou-se **0,30 metros** para a utilização do projeto horizontal geométrico.

4.6.7. Ponto final

O ponto final do traçado localizado na TO-080 (km-50), com as coordenadas 10° 9'54,70"S e 48°47'58,42"O. Dando sequência com o estaqueamento da curva, com o ST-6 480 estacas + 19,71 metros. O estaqueamento final portando ficou na estaca 520 + 7,12 metros.

Com todo o traçado desenvolvido, calculado, e estaqueado, a rodovia será de aproximadamente de 10,40 km de comprimento.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O projeto geométrico rodoviário é, portanto uma obra civil que possibilita a construção de novas estradas, faz parte de uma relação de atividades que constituem o corpo de uma rodovia. A importância do projeto é determinada em conformidade com a qualidade do planejamento, a necessidade da região, visando conforto, estabilidade, e segurança à população.

A construção de uma nova rodovia estabelece um padrão geométrico de desenvolvimento para a região de Paraíso do Tocantins/TO, portanto a proposta de criação da rodovia em estudo é favorável, visto que é uma alternativa de solução para a diminuição do tráfego de veículos pesados na travessia urbana de Paraíso, resultando em pontos positivos para a diminuição de acidentes na travessia, e a conservação do pavimento da BR-153 na área urbana da cidade. A construção da nova rodovia também é benéfica para os motoristas que dirigem-se para a capital Palmas/TO, e ao pátio multimodal localizado próximo a TO-080, para os condutores que se locomovem da região sul do estado do Tocantins, além de não passar na área urbana, reduziria aproximadamente 8 quilômetros de extensão.

Neste trabalho, realizou-se um processo para se formalizar uma topografia preliminar da região, onde é um dos pontos iniciais e essenciais para o desenvolvimento e reconhecimento para a escolha do traçado mais viável.

Podendo então determinar no estudo da topografia preliminar uma melhor alternativa de traçado horizontal geométrico, comparando parâmetros de execução, custo, benefícios e visando sempre os critérios exigidos pelo o DNIT. Definido de tal maneira que o traçado esteja com trechos longos em tangente e de poucas curvas de raios amplos. Além de diminuir a sensação de desconforto ao motorista, esse traçado escolhido, ajusta-se mais favoravelmente as características básicas das linhas da natureza, podendo minimizar os impactos gerados pela a construção da estrada.

Concluindo desta maneira, que o projeto geométrico é essencial para o processo executivo de uma rodovia, procurando seguir as normas de diretrizes recomendadas pelo o DNIT para o desenvolvimento de projeto de rodovia, obtendo portanto resultados através dos cálculos dos elementos composto de cada curva separadamente, e por final a apresentação do projeto horizontal geométrico

finalizado com todos os seus elementos e informações precisas, chega-se à conclusão que o projeto em estudo é viável para a realização da construção da nova possível rodovia, garantindo aos seus usuários mais conforto, estabilidade, eficiência e principalmente segurança ao transitar.

Como complementação e conclusão do projeto geométrico de rodovia ligando a BR-153/TO (KM-497) até a TO-080 (KM-50) recomenda-se para trabalhos futuros um estudo mais preciso para a continuação do projeto, realizando então, o projeto vertical geométrico desta rodovia, o projeto de obras de terras (corte e/ou aterro), projeto de terraplenagem, compatíveis com o projeto horizontal geométrico proposto em estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. **A policy on geometric design of highways and streets**. 4ª Edição. ed. Washington D.C.: [s.n.], 2001. 905 p.
- ADALA, L. B. **Tópicos de Projeto Geométrico Rodoviário**. DER. Curitiba, p. 84. 2008.
- AMORIM, G. P. **Projeto Geométrico - Estudos Preliminares**. FTP CEFETES. Espírito Santo, p. 52. 2005.
- BALBO, J. T. **Patologias e Manutenção**. São Paulo: Plêiade, 2007.
- BERNUCCI, L. B. **Pavimentação asfáltica, formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008. p. 372.
- CARVALHO, C. A. B. et al. **Projeto Geométrico de Estradas**. 1ª Edição. ed. Viçosa: UFV, 2013. 26 p.
- CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014: relatório gerencial**. CNT/SEST/SENAT. Brasília, p. 389. 2014.
- COMASTRI, J. A.; CARVALHO, C. A. **Estradas: traçado geométrico**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- COSTA, G. C. **Estradas de Rodagem**. UNICAP. Recife, p. 103. 2014.
- COSTA, P. S. D.; FIGUEIREDO, W. C. **Estradas: Estudos e Projetos**. 3ª Edição. ed. Salvador: EDUFBA, 2007.
- DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: IPR, 1999.
- DNIT. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Rio de Janeiro: IPR, 2010.
- LEE, S. H. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. 3ª Edição. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2008.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.
- PEREIRA, D. M. et al. **Projeto Geométrico de Rodovias**. DTT/UFPR. Curitiba, p. 108. 2013.
- PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 1ª Edição. ed. São Carlos: Rima, 2001.

PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. 1ª Edição. ed. São Carlos: Glauco Pontes Filho, 1998.

PREGO, A. S. D. S. A Memória da Pavimentação no Brasil. [S.l.]: ABP, 2001. p. 640.

SANTOS, S. B. D. **Projeto de estrada**. SOES/IUESO. Goiânia, p. 158. 2007.

SENÇO, W. D. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: PINI Ltda, 2008.

SEPLAN. (2014). **Secretaria de Planejamento e Orçamento**. Disponível em:<
<http://seplan.to.gov.br>>

http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/ZEE/Imagem2014_gcs_15m_municipios/Paraiso%20do%20Tocantins.zip. Acesso em: 04 de ago de 2015.

TBR. **Highway Capacity Manual**. 1ª edição. ed. Washington: TBR, 2010.

ANEXOS

Quadro 25 - Locação da curva circular com transição (1º curva)

Raio (m)	Ls (m)	Estacas	L (m)	Θ_s (rad)	X (m)	Y (m)	i (°,';")
650	100	47+18,67m	-	-	-	-	-
650	100	48	1,38	0,000015	1,38	0,000007	0° 0' 1"
650	100	49	21,38	0,003516	21,38	0,025	0° 4' 2"
650	100	50	41,38	0,013172	41,38	0,182	0° 15' 6"
650	100	51	61,38	0,028981	61,37	0,593	0° 33' 13"
650	100	52	81,38	0,050944	81,36	1,382	0° 58' 23"
650	100	52+18,67m	100	0,076923	99,94	2,563	1° 28' 9"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 26 - Locação curva circular (1º Curva)

Estaca	D (°,';")	Deflexão acumulada
52 + 18,62 m	-	-
53	0° 3' 39"	0° 3' 39"
54	0° 52' 53"	0° 56' 32"
55	0° 52' 53"	1° 49' 26"
56	0° 52' 53"	2° 42' 19"
57	0° 52' 53"	3° 35' 12"
58	0° 52' 53"	4° 28' 6"
59	0° 52' 53"	5° 20' 59"
60	0° 52' 53"	6° 13' 52"
61	0° 52' 53"	7° 6' 45"
62	0° 52' 53"	7° 59' 39"
63	0° 52' 53"	8° 52' 32"
64	0° 52' 53"	9° 45' 25"
65	0° 52' 53"	10° 38' 19"
66	0° 52' 53"	11° 31' 12"
67	0° 52' 53"	12° 24' 5"
68	0° 52' 53"	13° 16' 59"
69	0° 52' 53"	14° 9' 52"
70	0° 52' 53"	15° 2' 45"
71	0° 52' 53"	15° 55' 39"
72	0° 52' 53"	16° 48' 32"
73	0° 52' 53"	17° 41' 25"
74	0° 52' 53"	18° 34' 19"
75	0° 52' 53"	19° 27' 12"
76	0° 52' 53"	20° 20' 5"
77	0° 52' 53"	21° 12' 59"
77 + 8,77m	0° 23' 11"	21° 36' 10"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 27 - Locação da curva circular com transição (2º curva)

Raio (m)	Ls (m)	Estaca	L (m)	Θ_s (rad)	X (m)	Y (m)	i (°,'")
600	100	151+2,12m	-	-	-	-	-
600	100	152	17,88	0,002664	17,88	0,016	0° 3' 3"
600	100	153	37,88	0,011957	37,88	0,151	0° 13' 42"
600	100	154	57,88	0,027917	57,88	0,539	0° 31' 59"
600	100	155	77,88	0,050544	77,86	1,312	0° 57' 55"
600	100	156	97,88	0,079837	97,82	2,604	1° 31' 29"
600	100	156+2,12m	100	0,083333	99,93	2,776	1° 35' 29"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 28 - Locação curva circular (2º curva)

Estaca	D (°,'")	Deflexão acumulada
156+2,12	-	-
157	0° 51' 13"	0° 51' 13"
158	0° 57' 18"	1° 48' 31"
159	0° 57' 18"	2° 45' 49"
160	0° 57' 18"	3° 43' 7"
161	0° 57' 18"	4° 40' 24"
162	0° 57' 18"	5° 37' 42"
163	0° 57' 18"	6° 34' 60"
164	0° 57' 18"	7° 32' 18"
165	0° 57' 18"	8° 29' 35"
166	0° 57' 18"	9° 26' 53"
167	0° 57' 18"	10° 24' 11"
168	0° 57' 18"	11° 21' 29"
169	0° 57' 18"	12° 18' 46"
170	0° 57' 18"	13° 16' 4"
171	0° 57' 18"	14° 13' 22"
172	0° 57' 18"	15° 10' 40"
173	0° 57' 18"	16° 7' 58"
174	0° 57' 18"	17° 5' 15"
175	0° 57' 18"	18° 2' 33"
176	0° 57' 18"	18° 59' 51"
177	0° 57' 18"	19° 57' 9"
178	0° 57' 18"	20° 54' 26"
179	0° 57' 18"	21° 51' 44"
180	0° 57' 18"	22° 49' 2"
181	0° 57' 18"	23° 46' 20"
181+14,52m	0° 41' 36"	24° 27' 55"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 29 - Locação curva circular (3º curva)

Estaca	D (° , ' , ")	Deflexão acumulada
200+11,24m	-	-
201	0° 12' 3"	0° 12' 3"
202	0° 27' 30"	0° 39' 33"
203	0° 27' 30"	1° 7' 3"
204	0° 27' 30"	1° 34' 33"
205	0° 27' 30"	2° 2' 3"
206	0° 27' 30"	2° 29' 33"
207	0° 27' 30"	2° 57' 4"
208	0° 27' 30"	3° 24' 34"
209	0° 27' 30"	3° 52' 4"
210	0° 27' 30"	4° 19' 34"
211	0° 27' 30"	4° 47' 4"
212	0° 27' 30"	5° 14' 34"
213	0° 27' 30"	5° 42' 4"
214	0° 27' 30"	6° 9' 34"
215	0° 27' 30"	6° 37' 5"
216	0° 27' 30"	7° 4' 35"
217	0° 27' 30"	7° 32' 5"
218	0° 27' 30"	7° 59' 35"
219	0° 27' 30"	8° 27' 5"
220	0° 27' 30"	8° 54' 35"
221	0° 27' 30"	9° 22' 5"
222	0° 27' 30"	9° 49' 35"
223	0° 27' 30"	10° 17' 6"
224	0° 27' 30"	10° 44' 36"
225	0° 27' 30"	11° 12' 6"
226	0° 27' 30"	11° 39' 36"
227	0° 27' 30"	12° 7' 6"
228	0° 27' 30"	12° 34' 36"
229	0° 27' 30"	13° 2' 6"
230	0° 27' 30"	13° 29' 36"
231	0° 27' 30"	13° 57' 6"
232	0° 27' 30"	14° 24' 37"
233	0° 27' 30"	14° 52' 7"
234	0° 27' 30"	15° 19' 37"
235	0° 27' 30"	15° 47' 7"
236	0° 27' 30"	16° 14' 37"
237	0° 27' 30"	16° 42' 7"
238	0° 27' 30"	17° 9' 37"
239	0° 27' 30"	17° 37' 7"
240	0° 27' 30"	18° 4' 38"

241	0° 27' 30"	18° 32' 8"
242	0° 27' 30"	18° 59' 38"
243	0° 27' 30"	19° 27' 8"
244	0° 27' 30"	19° 54' 38"
245	0° 27' 30"	20° 22' 8"
245+3,10m	0° 4' 16"	20° 26' 24"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 30 - Locação da curva circular com transição (4^o curva)

Raio (m)	Ls (m)	Estaca	L (m)	Θ_s (rad)	X (m)	Y (m)	i (°,';")
500	120	249+0,62m	-	-	-	-	-
500	120	250	19,38	0,003130	19,38	0,020219	0° 3' 35"
500	120	251	39,38	0,012923	39,38	0,170	0° 14' 49"
500	120	252	59,38	0,029383	59,37	0,582	0° 33' 40"
500	120	253	79,38	0,052510	79,36	1,389	1° 0' 10"
500	120	254	99,38	0,082303	99,31	2,725	1° 34' 18"
500	120	255	119,38	0,118763	119,21	4,721	2° 16' 5"
500	120	255+0,62m	120	0,120000	119,83	4,795	2° 17' 30"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 31 - Locação curva circular (4^o curva)

Estaca	D (°,';")	Deflexão acumulada
255+0,62m	-	-
256	1° 6' 37"	1° 6' 37"
257	1° 8' 45"	2° 15' 23"
258	1° 8' 45"	3° 24' 8"
259	1° 8' 45"	4° 32' 53"
260	1° 8' 45"	5° 41' 39"
261	1° 8' 45"	6° 50' 24"
262	1° 8' 45"	7° 59' 9"
263	1° 8' 45"	9° 7' 55"
264	1° 8' 45"	10° 16' 40"
265	1° 8' 45"	11° 25' 25"
266	1° 8' 45"	12° 34' 11"
267	1° 8' 45"	13° 42' 56"
268	1° 8' 45"	14° 51' 41"
269	1° 8' 45"	16° 0' 26"
270	1° 8' 45"	17° 9' 12"
271	1° 8' 45"	18° 17' 57"
272	1° 8' 45"	19° 26' 42"
273	1° 8' 45"	20° 35' 28"
274	1° 8' 45"	21° 44' 13"
275	1° 8' 45"	22° 52' 58"
276	1° 8' 45"	24° 1' 44"
277	1° 8' 45"	25° 10' 29"
278	1° 8' 45"	26° 19' 14"
279	1° 8' 45"	27° 27' 60"
280	1° 8' 45"	28° 36' 45"
280+0,62m	0° 2' 8"	28° 38' 53"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 32 - Locação da curva circular com transição (5^o curva)

Raio (m)	Ls (m)	Estaca	L (m)	Θ_s (rad)	X (m)	Y (m)	i (°,';")
700	80	343+8,88m	-	-	-	-	-
700	80	344	13,26	0,001570	13,26	0,0069	0° 1' 48"
700	80	345	33,26	0,009877	33,26	0,110	0° 11' 19"
700	80	346	53,26	0,025327	53,26	0,450	0° 29' 1"
700	80	347	73,26	0,047920	73,24	1,170	0° 54' 55"
700	80	347+8,88m	80	0,057143	79,97	1,523	1° 5' 29"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 33 - Locação curva circular (5^o curva)

Estaca	D (°,';")	Deflexão acumulada
351+6,74m	-	-
352	0° 32' 34"	0° 32' 34"
353	0° 49' 7"	1° 21' 40"
354	0° 49' 7"	2° 10' 47"
355	0° 49' 7"	2° 59' 54"
356	0° 49' 7"	3° 49' 0"
357	0° 49' 7"	4° 38' 7"
358	0° 49' 7"	5° 27' 14"
359	0° 49' 7"	6° 16' 20"
360	0° 49' 7"	7° 5' 27"
361	0° 49' 7"	7° 54' 33"
362	0° 49' 7"	8° 43' 40"
363	0° 49' 7"	9° 32' 47"
364	0° 49' 7"	10° 21' 53"
365	0° 49' 7"	11° 11' 0"
366	0° 49' 7"	12° 0' 7"
367	0° 49' 7"	12° 49' 13"
368	0° 49' 7"	13° 38' 20"
369	0° 49' 7"	14° 27' 27"
370	0° 49' 7"	15° 16' 33"
371	0° 49' 7"	16° 5' 40"
372	0° 49' 7"	16° 54' 47"
373	0° 49' 7"	17° 43' 53"
374	0° 49' 7"	18° 32' 60"
375	0° 49' 7"	19° 22' 7"
376	0° 49' 7"	20° 11' 13"
376 + 4,86m	0° 11' 56"	20° 23' 9"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 34 - Locação da curva circular com transição (6º curva)

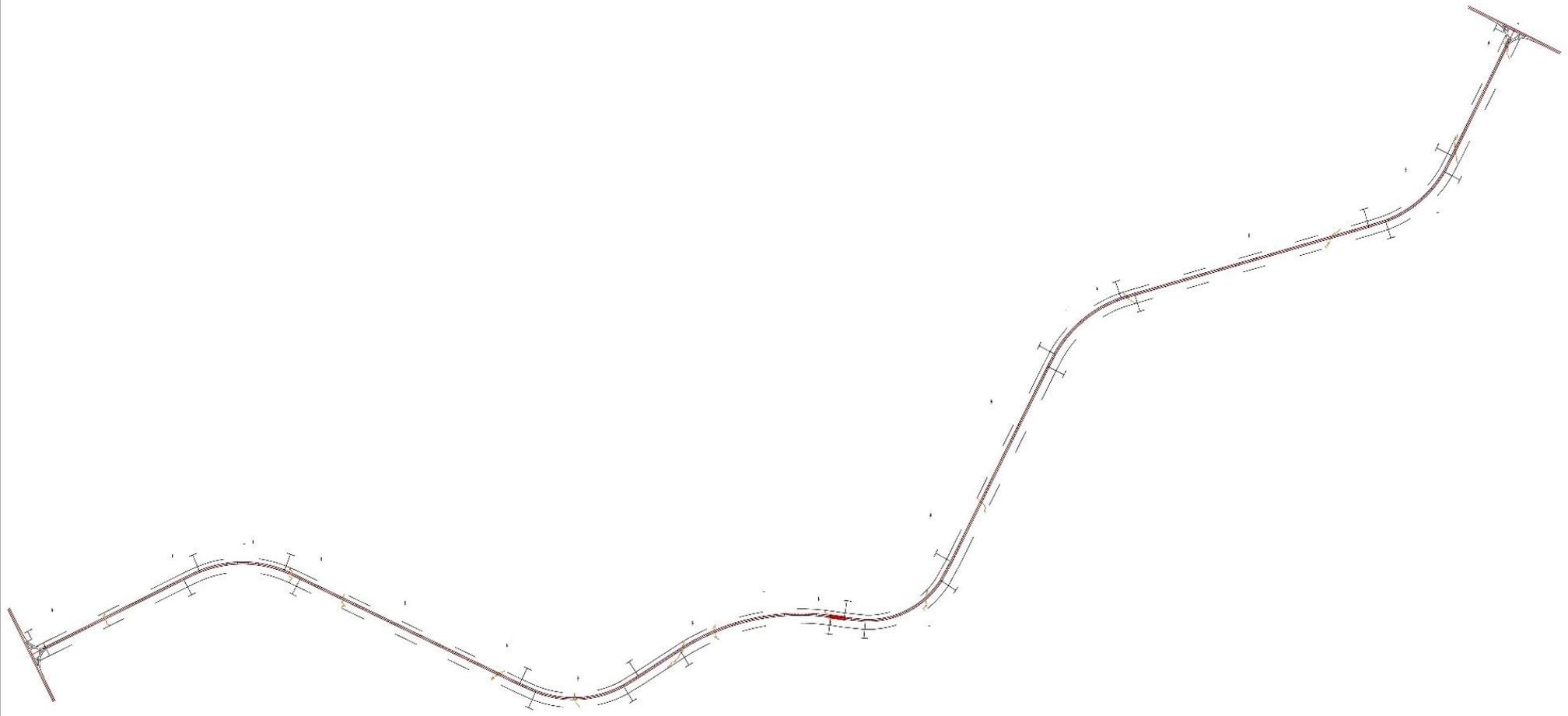
Raio (m)	Ls (m)	Estaca	L (m)	Θ_s (rad)	X (m)	Y (m)	i (°, ', ")
650	100	449+0,31m	-	-	-	-	-
650	100	450	19,69	0,002982	19,69	0,0196	0° 3' 25"
650	100	451	39,69	0,012118	39,69	0,160	0° 13' 53"
650	100	452	59,69	0,027407	59,69	0,545	0° 31' 24"
650	100	452	79,69	0,048850	79,67	1,297	0° 55' 59"
650	100	454	99,69	0,076447	99,63	2,539	1° 27' 36"
650	100	454+0,31m	100	0,076923	99,94	2,563	1° 28' 9"

Fonte: Autor (2015)

Quadro 35 - Locação curva circular (6º curva)

Estaca	D (°, ', ")	Deflexão acumulada
454+0,31m	-	-
455	0° 52' 4"	0° 52' 4"
456	0° 52' 53"	1° 44' 57"
457	0° 52' 53"	2° 37' 51"
458	0° 52' 53"	3° 30' 44"
459	0° 52' 53"	4° 23' 37"
460	0° 52' 53"	5° 16' 31"
461	0° 52' 53"	6° 9' 24"
462	0° 52' 53"	7° 2' 17"
463	0° 52' 53"	7° 55' 11"
464	0° 52' 53"	8° 48' 4"
465	0° 52' 53"	9° 40' 57"
466	0° 52' 53"	10° 33' 51"
467	0° 52' 53"	11° 26' 44"
468	0° 52' 53"	12° 19' 37"
469	0° 52' 53"	13° 12' 31"
470	0° 52' 53"	14° 5' 24"
471	0° 52' 53"	14° 58' 17"
472	0° 52' 53"	15° 51' 11"
473	0° 52' 53"	16° 44' 4"
474	0° 52' 53"	17° 36' 57"
475	0° 52' 53"	18° 29' 50"
475+19,71m	0° 29' 45"	18° 59' 35"

Fonte: Autor (2015)

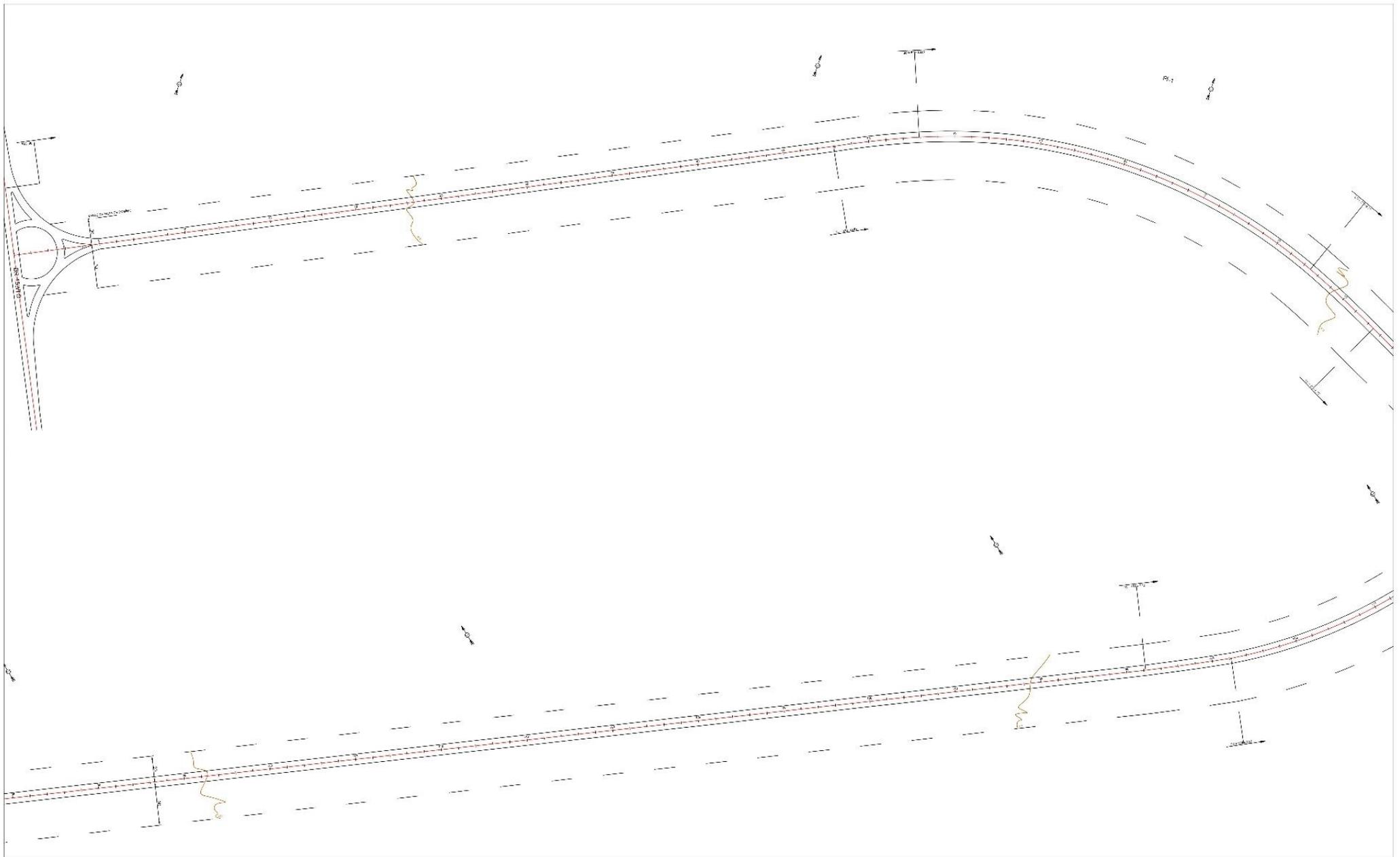


Quadro de Curvas

CURVA	RÁDIO	PC	LS	I	D	PC 13	SC	CS	P1 18
C1	852,00	82,227	150,00	587,23	282,9	47+18,27	52+18,67	728,77	624,677
C2	822,00	88,851	150,00	588,12	812,40	78+12,12	131+12,12	197,12	168+11,82
C3	580,00	28,888	-	485,88	891,88	303+11,54	-	-	242+8,10
D4	822,00	71,488	150,00	470,52	603,50	348+0,82	355+0,82	280+4,37	288+4,12
C5	182,00	47,222	100,00	245,80	488,12	387+8,14	327+8,14	210+4,88	362+4,88
C6	852,00	79,567	150,00	538,38	736,40	449+0,31	451+0,31	778,18,71	860+18,71



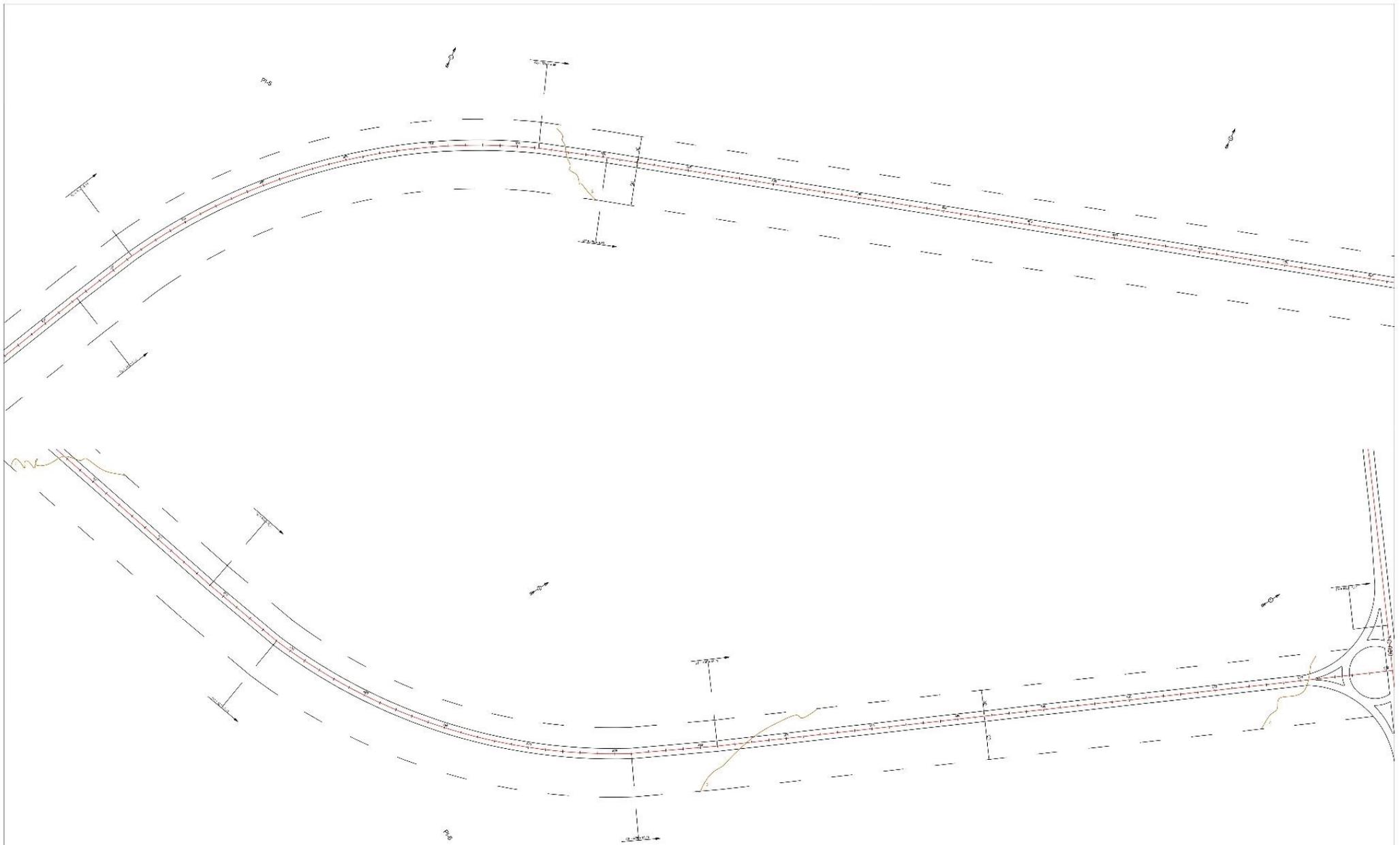
APROVAÇÃO		CEULPULBRA - CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS	
AGÊNCIA DE ENGENHARIA DE PROJETO: Randal Silva Gomes		PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS RURAIS	
PROJETO DE PROJETO, OBRAS E SERVIÇOS: Claudio Silvio Chagas Randal Silva Gomes	ESTADO:	PERÍMETRO:	10,404 km
PROJETO DE PROJETO, OBRAS E SERVIÇOS: Ferraz Augusto Sávio Junior Randal Silva Gomes	PROJETO:	PROJETO:	BR-153/TO [km-97] - TO-080 [km-50] (Paraisópolis do Tocantins)
PROJETO DE PROJETO, OBRAS E SERVIÇOS: Cezar Augusto Mattos Randal Silva Gomes	PROJETO HORIZONTAL GEOMÉTRICO		
PROJETO DE PROJETO, OBRAS E SERVIÇOS: Randal Silva Gomes	ESCALA:	1/11.000	PG-01



Quadra de Curvas									
CL. %A	RAIO	AC	LS	Y	γ	PC - "6	SC	CS	PT - "8"
C1	625,00	92,33°	100,00	367,33	480,10	47+18,67	52+18,67	72+8,77	87+8,77
C2	625,00	90,46°	100,00	395,12	312,49	131+52,12	136+52,12	181+14,56	196+14,56



APROVAÇÃO		CEULPULBRA - CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS	
<small>ACADEMIA DO SORTE DO PIAUÍ</small> Rivaldo Silva Gomes		PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS RURAIS	
<small>PROFESSOR</small> Luiz Pinto Chagas	<small>PROFESSOR</small> 10,404 km	<small>PROFESSOR</small> Ferrnando Moreno Saate Junior	<small>PROFESSOR</small> 01
<small>PROFESSOR</small> César Augusto Matos		BR-153/TO [km-497] - TO-080 [km-50] (Paraiso do Tocantins)	
<small>PROFESSOR</small> Rivaldo Silva Gomes		<small>ESCALA</small> 1/2.000	<small>TAB. N.</small> PG-02



Quadro de Curvas

CURVA	R/C	AC	LE	T	J	PC S	SC	CS	P S1
C5	720,00	47,32°	60,25	345,60	466,12	247+0,74	351+6,75	370+4,99	385+2,96
C6	960,00	47,56°	100,35	333,60	510+7,3	272+0,31	381+0,3	475+13,7	480+10,71

APROVAÇÃO		CEULPULBRA - CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS	
<small>APROVAÇÃO DO PROJETO: Randal Silva Gomes</small>		<small>PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS RURAIS</small>	
<small>INDICAR E NO PROJETO, OBRIGATORIAMENTE: Cláudio Paulo Chagas</small>	<small>EXTENSÃO</small> 10,404 km	<small>GRADIENTE</small> 0%	<small>TIPO</small> D1
<small>COORDENADOR DO SERVIÇO DE PROJETO: Herrano Moreno Sarte Junior</small>	<small>PROJETO</small> BR-153/TO (km-97) - TO-080 (km-50) (Paraisópolis do Tocantins)		
<small>PROJETADEIRO DE PROJETO DE ENGENHARIA: César Augusto Matos</small>	PROJETO HORIZONTAL GEOMÉTRICO		
<small>PROJETADEIRO DE PROJETO DE ENGENHARIA: Randal Silva Gomes</small>	<small>ESCALA</small> 1/2.000	<small>TÍTULO</small> PG-04	