UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ADEQUAÇÃO GEOMÉTRICA DA INTERSEÇÃO EXISTENTE ENTRE AS RODOVIAS PR-498 E PR-554 NO ESTADO DO PARANÁ

GUILHERME MANHÃES

MARINGÁ – PR
2018

Guilherme Manhães

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ADEQUAÇÃO GEOMÉTRICA DA INTERSEÇÃO EXISTENTE ENTRE AS RODOVIAS PR-498 E PR-554 NO ESTADO DO PARANÁ

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Msc. Ronan Yuzo Takeda Violin e coorientação do Engº Esp. Victor Eduardo Antunes.

MARINGÁ – PR

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

GUILHERME MANHÃES

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ADEQUAÇÃO GEOMÉTRICA DA INTERSEÇÃO EXISTENTE ENTRE AS RODOVIAS PR-498 E PR-554 NO ESTADO DO PARANÁ

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Msc. Ronan Yuzo Takeda Violin e coorientação do Engº Esp. Victor Eduardo Antunes.

Aprovado em: 08 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Bruno Aurélio Camolezi
Unicesumar – Centro Universitário de Maringá

Engº Esp. Durlan de Paiva Santana
Gerente de Operações Rodoviárias / S.R. Noroeste
Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná

Prof. Msc Ronan Yuzo Takeda Violin
Unicesumar – Centro Universitário de Maringá

ESTUDO DE VIABILIDADE DE ADEQUAÇÃO GEOMÉTRICA DA INTERSEÇÃO EXISTENTE ENTRE AS RODOVIAS PR-554 E PR-498 NO ESTADO DO PARANÁ

Guilherme Manhães

RESUMO

Este trabalho apresenta estudos realizados para a averiguação da viabilidade de adequação da interseção rodoviária existente entre as rodovias PR - 498 e PR - 554 no município de Presidente Castelo Branco - PR. A atual geometria do entroncamento não comporta as dimensões dos veículos que o utilizam, além de ser um ponto crítico da malha rodoviária paranaense com a ocorrência de diversos acidentes. O estudo foi elaborado a partir do levantamento dos dados básicos do local e o pré-dimensionamento das principais características da solução proposta para adequação, para a qual o veículo de projeto adotado foi o BLT, caminhão duplo-articulado comumente utilizado para o transporte canavieiro incidente do local. A solução proposta foi a implantação de uma rótula moderna cujas características de operação conferem prioridade para o tráfego que circula pela rotatória, obrigando os veículos que se aproximam da interseção a conferirem prioridade.

Palavras-chave: Entroncamento. Projeto Geométrico. Rótula Moderna.

FEASIBILITY STUDY OF GEOMETRIC ADAPTING INTERSECTION BETWEEN THE ROADS PR-554 AND PR-498 IN THE STATE OF PARANÁ

ABSTRACT

This project presents studing made to investigate the feasibility of adapting the existing road intersection between the PR-498 and PR-554 highways, whose current geometry doesn’t include the dimensions of the vehicles that use the hightway interchange, besides being a critical point of the road network Paraná with the occurrence of several accidents. The survey was based on a research of the basic data of the current junction and the pre-sizing of the main characteristics of the solution proposed for adequacy, whose vehicle used was the BLT, a double-articulated truck commonly used for transporting the sugar cane incident. The proposed solution was the implantation of a modern scute whose operation characteristics give priority to the traffic that passs by the rotational, forcing the vehicles that approximate the intersection to give priority.

Keywords: Intersection. Geometric Design. Modern Ball Joint.

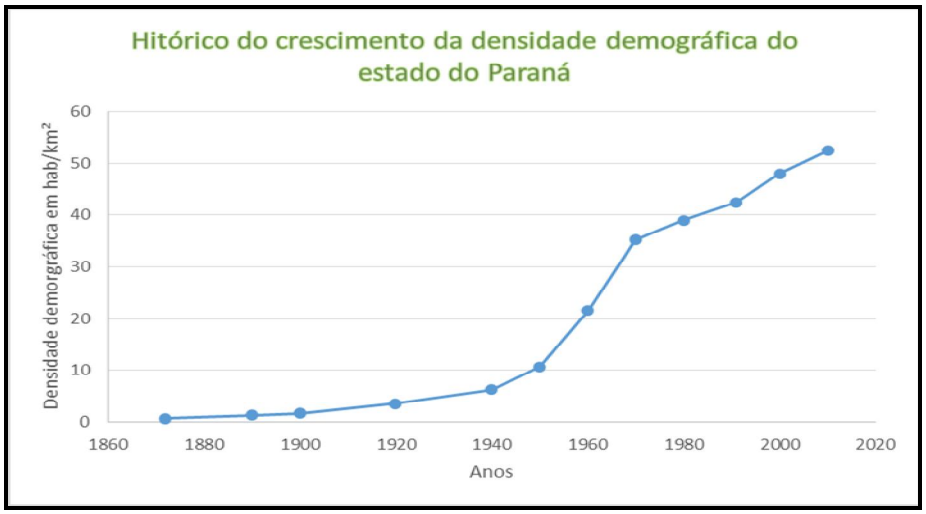
1 INTRODUÇÃO

Interseções rodoviárias são pontos de confluência entre duas ou mais rodovias, que visam permitir um adequado fluxo de tráfego de veículos de maneira segura e funcional. Os entroncamentos rodoviários podem ser categorizados como sendo interseções em nível e interseções em desnível, sendo a primeira uma opção mais simples e com menor custo em relação a segunda. Estes elementos compõem os projetos geométricos das rodovias, e a sua qualidade operacional influencia de maneira determinante na qualidade global do projeto rodoviário, em termos de segurança e eficiência. Por esta razão, o dimensionamento correto das interseções e seus dispositivos geométricos, bem como a sua apropriada sinalização constituem caráter de extrema relevância nos estudos da engenharia civil, no âmbito dos sistemas de transportes.

Segundos dados do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, “A grande expansão do rodoviarismo do Paraná ocorreu até os anos 80, com pesados investimentos e programas na área de construção ”. Segundo a autarquia “Hoje a Malha Rodoviária de jurisdição federal e estadual do Paraná conta com um total de 15.861,07 km de rodovias, sendo 1.903,60 km de rodovias não pavimentadas e 13.957,47 km de rodovias pavimentadas.”. Ainda com base nos dados do DER-PR, em 1994 a malha rodoviária estadual contava com um total de 15,7 mil quilômetros divididos entre rodovias estaduais e federais, desconsiderando aquelas sob jurisdição municipal.

Tais dados revelam que grande parte da rede rodoviária do Paraná foi projetada e implantada há um tempo considerável, o que sugere que seus parâmetros de projeto se tornaram obsoletos para os dias atuais, em que contamos com veículos que se diferenciam em inúmeros aspectos dos que existiam no passado, além do inegável aumento populacional em todo território estadual (conforme gráfico de crescimento da densidade demográfica no Estado do Paraná – Gráfico 1), fator este que altera as características do tráfego regional. Esses fatores levam a frequente necessidade de realizar obras de adequação nas interseções, seja com a finalidade de aumentar sua capacidade de serviço, realizar ações corretivas, ou ainda adequar a geometria a uma nova realidade local.

Gráfico 1 – Densidade Demográfica do Estado do Paraná 1872-2010.



Fonte: IBGE.

Sob este contexto, o DER-PR lançou no dia 11 de junho de 2018 três editais para contratação de projetos de adequação de algumas interseções rodoviárias localizadas no noroeste paranaense. Dentre estes editais, encontra-se o edital nº 122-2017, que apresenta a situação problema existente no entroncamento entre as rodovias PR-554 e PR-498, localizado na área rural do município de Presidente Castelo Branco – PR. De acordo com o termo de referência do citado edital, ambas as rodovias possuem faixa de domínio simétrica de 20,00 m de largura, sendo 10,00 m para cada lado contados a partir do eixo da rodovia. Segundo o documento "O motivo de adequação da interseção existente trata-se da necessidade de ajuste da geometria do acesso ao volume de tráfego de veículos de grande porte (caminhões canavieiros) que trafegam pelo local, visando incrementar a segurança. Devido à particularidade das dimensões de tais veículos, aliada às características topográficas do atual entroncamento, o local em questão tornou-se um ponto crítico da rodovia PR 498, inclusive com a ocorrência de diversos acidentes na região.". O edital ainda menciona um índice que tráfego que gira em torno de 2.000 veículos/dia.

Ante o exposto, o presente trabalho vem propor o desenvolvimento de um estudo de viabilidade para a adequação geométrica da referida interseção rodoviária, levando em consideração para tanto, as características de tráfego da região para determinação do veículo de projeto e adoção da forma geométrica mais adequada para a interseção em questão. Ressalta-se que o trabalho não tem o objetivo de desenvolver um projeto executivo propriamente dito, devido à tamanha complexidade para obtenção de todos os dados

necessários para isso, bem como a falta de recursos disponíveis para tal feito, inclusive o recurso tempo. Todavia, para que o estudo seja desenvolvido de maneira fundamentada, o trabalho se ampara no Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e nos demais documentos normativos para o tema.

2 DESENVOLVIMENTO

Segundo o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), as interseções entre rodovias rurais formam elementos de descontinuidade que representam pontos críticos a serem tratados com cautela especial. Por essa razão, é necessário que os projetos geométricos dos entroncamentos garantam um ordenado fluxo de veículos e mantenham o nível de serviço da rodovia, garantindo a segurança onde existir interferência nas correntes de tráfego. Para que esses dispositivos cumpram essa tarefa adequadamente, deve ser feita uma escolha correta da geometria que melhor atente às características da região onde serão implantados.

O manual do DNIT nos apresenta no Capítulo 6 alguns tipos básicos de interseções que podem ser utilizadas para atender as mais diversas condições, embora saliente que não é possível obter uma determinação objetiva do tipo de geometria que deve ser utilizada em cada caso concreto, cabendo aos engenheiros envolvidos no projeto uma análise mais acurada de cada situação e posterior decisão.

2.1 DADOS BÁSICOS

A escolha de um tipo específico de interseção está ligada a diversas condicionantes, por isso é necessário que seja realizado o levantamento de alguns dados que ajudarão a elucidar a situação local e adotar o modelo adequado. Com o objetivo de realizar o estudo de adequação da interseção, buscou-se o maior número de dados disponíveis na internet e também dados já levantados pelas entidades de controle rodoviário, como por exemplo o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, tendo em vista tratar-se da interseção de duas rodovias estaduais.

2.1.1 DADOS FUNCIONAIS

Os primeiros dados a serem levantados devem ser aqueles que estabelecem a classificação funcional da rodovia, uma vez que o anteprojeto e projeto devem se basear nas suas características funcionais. Esses dados dão um panorama geral da categoria das rodovias em estudo. O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1.999) é um documento originalmente desenvolvido para uso do DNER (autarquia federal posteriormente substituída pelo DNIT) e estabelece a adoção de quatro diferentes classes e quatro subclasses para categorização das rodovias. Segundo o referido manual "A função exercida pela rodovia e os volumes de tráfego, associados ao grau de dificuldade de implantação resultante da natureza do terreno atravessado, foram os fatores predominantes no processo de formulação das diversas classes adotadas".

Com base no "Volume 1 - Relatório de Projeto" (1.979) da PR-554, do trecho: São Jorge – Entroncamento PR-467 (antiga denominação da PR-498), documento encontrado no setor de arquivos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná em sua Superintendência Regional Noroeste, e obtido com autorização expressa do Superintendente Regional Noroeste da autarquia, a rodovia PR-554 foi projetada para uma velocidade diretriz (velocidade de projeto – Segundo o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999) é o parâmetro do qual decorrem os valores mínimos de determinadas características físicas da rodovia) de 50 km/h e considerada como sendo uma rodovia de Classe III, localizada em terreno ondulado.

Quanto a rodovia PR-498, não foi possível localizar nenhum documento que a classificasse de maneira objetiva em nenhuma das classes de rodovias descritas no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999). Mas considerando a estimativa de tráfego fornecida pelo DER-PR de 2.000 veículos/dia incidente na interseção, e levando em conta a categorização da rodovia PR-554 como sendo de Classe III (classe que considera o Volume Médio Diário entre 300 e 700 veículos), aliadas as características observáveis na própria rodovia, como por exemplo, o terreno ondulado e o pouco controle de acessos, considerou-a como sendo uma rodovia intermediária entre as Classes II e III.

As duas rodovias operam com velocidade máxima de 80 km/h, possuem pouco controle de acesso e encontram-se sob condições moderadas de conservação do pavimento e sinalização.

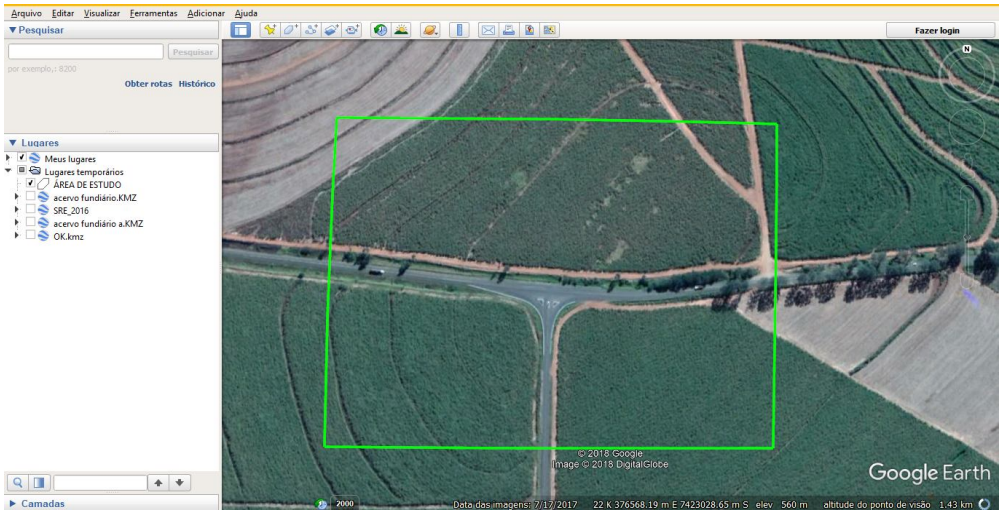
2.1.2 DADOS FÍSICOS

A nível de projeto, os dados físicos da região em estudo são obtidos, geralmente, através de levantamentos aerofotogramétricos e levantamentos topográficos clássicos, com o uso de equipamentos eletrônicos como estações totais, e GNSS de alta precisão, além de utilizarem softwares de tratamento de dados. Todavia, para os anteprojetos, que são estudos que visam estabelecer, depois das necessárias alterações, as diretrizes básicas do projeto definitivo, quando no seu desenvolvimento, ainda há indisponibilidade de levantamentos topográficos de alta precisão. Contudo, para o desenvolvimento de um estudo capaz de nortear com razoabilidade a elaboração do projeto, faz-se necessário ter a mínima compreensão das características do terreno.

Portanto, para ter essa noção geral da topografia da região da interseção existente, foram utilizados dados originários do ônibus espacial *Endeavour*, enviado na missão SRTM da agência espacial norte americana NASA e obtidos com o auxílio do software de geoprocessamento **Global Mapper v 19.1 – Versão de Avaliação**. O procedimento para obtenção das características topográficas da região em estudo é descrito, de maneira simplificada, a seguir.

1- Com o auxílio do software de visualização da superfície terrestre **Google Earth Pro v 7.3**, realizou-se a delimitação da área de interesse, por meio do recurso *adicionar polígono.*

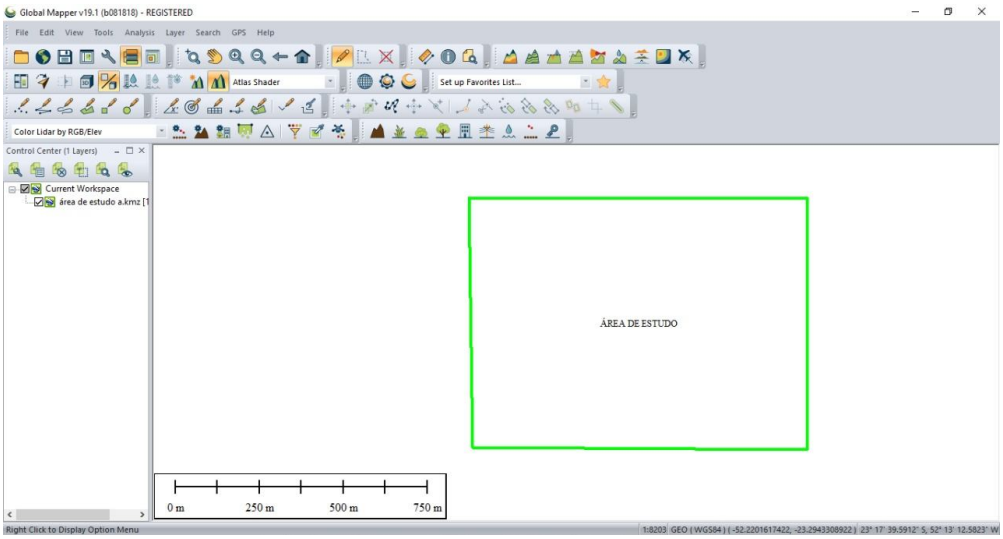
Figura 1 - Delimitação da área de interesse.



Fonte: Autor (2018).

2 – Com a área delimitada salva em arquivo separado, realizou-se a abertura do arquivo no software de geoprocessamento **Global Mapper v 19.1 – Versão de Avaliação**.

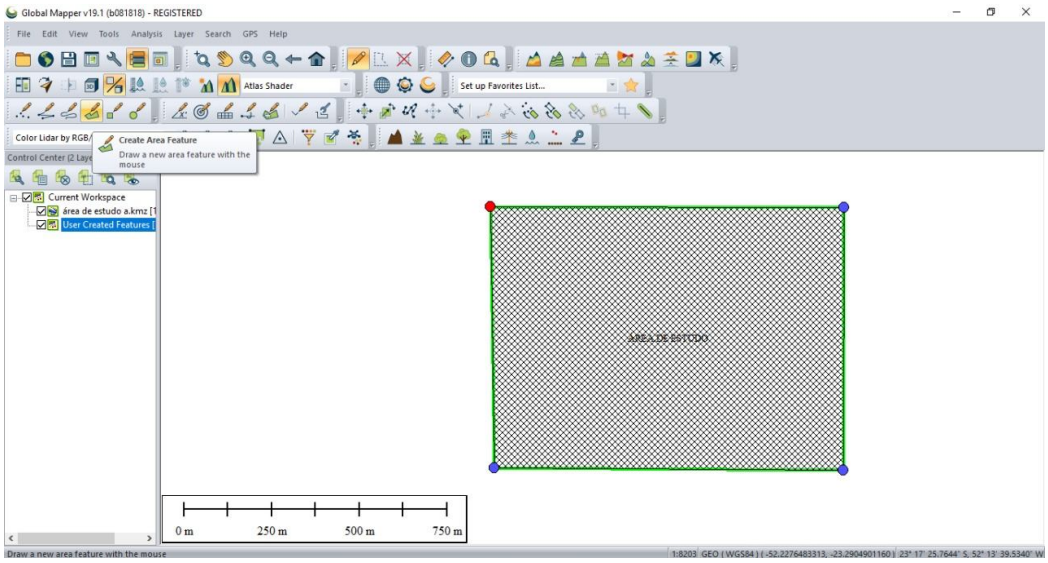
Figura 2 - Abertura do arquivo no software de geoprocessamento.



Fonte: Autor (2018).

3 – Com a auxílio da função *Create Area Feature* redesenhou-se a poligonal.

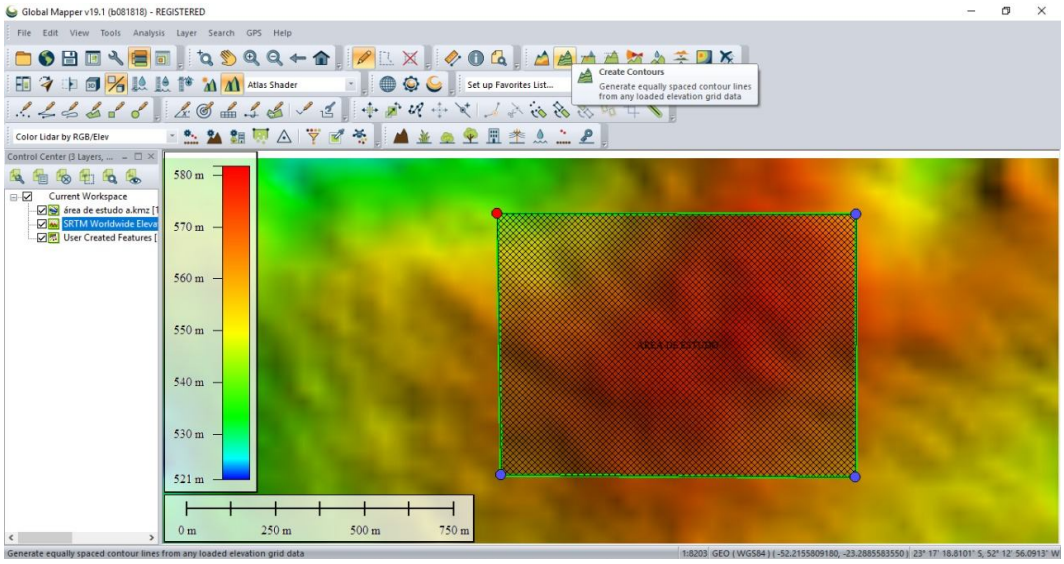
Figura 3 - Redesenho da poligonal.



Fonte: Autor (2018).

4 – Então, foi selecionada a base de dados do SRTM através do recurso *Download Online Data*, na opção *Worldwide Elevation Data*.

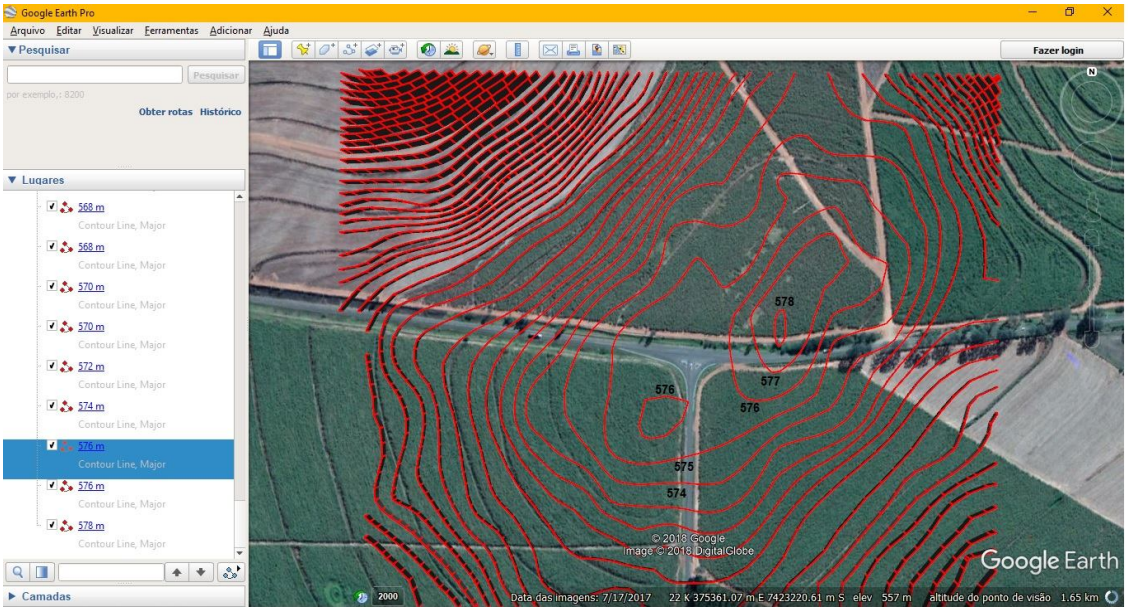
Figura 4 - Seleção da base de dados.



Fonte: Autor (2018).

5 – Com a função *Create Contours* criou-se as curvas nível com equidistância de 1 metro e exportou-as novamente para a visualização no Google Earth Pro.

Figura 5 - Visualização das curvas de nível geradas com software de geoprocessamento.



Fonte: Autor (2018).

2.1.2.1 GREIDES DE APROXIMAÇÃO

Aliado ao levantamento das curvas de nível por meio de satélite, realizou-se uma busca no acervo fundiário do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para verificar se haviam propriedades rurais georreferenciadas que confrontassem com as faixas de domínio, pois os dados desses levantamentos topográficos podem auxiliar principalmente no levantamento do perfil longitudinal do eixo das plataformas das rodovias (greides), pois nesse tipo de levantamento, os profissionais obtêm os dados do eixo das rodovias para depois executarem o *offset* e encontrarem o limite entre a propriedade e a faixa de domínio da rodovia.

Na busca realizada, verificou-se a existência de uma propriedade lindeira à interseção que possui registro de georreferenciamento no INCRA e através dos dados da parcela, em consulta no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), o profissional responsável foi encontrado e contatado, disponibilizando-se a fornecer os dados de altimetria do eixo da rodovia. Com esses dados, foi possível levantar os greides de aproximação da rodovia PR-554 e da rodovia PR-498 somente no sentido Floraí/PR - interseção. Os perfis longitudinais considerados estão demonstrados nos **anexos III e IV** .

Para levantamento do greide da rodovia PR-498 no sentido Presidente Castelo Branco/PR - interseção, foi realizado um levantamento utilizando um GNSS de navegação, obtendo os dados demonstrados na figura 6.

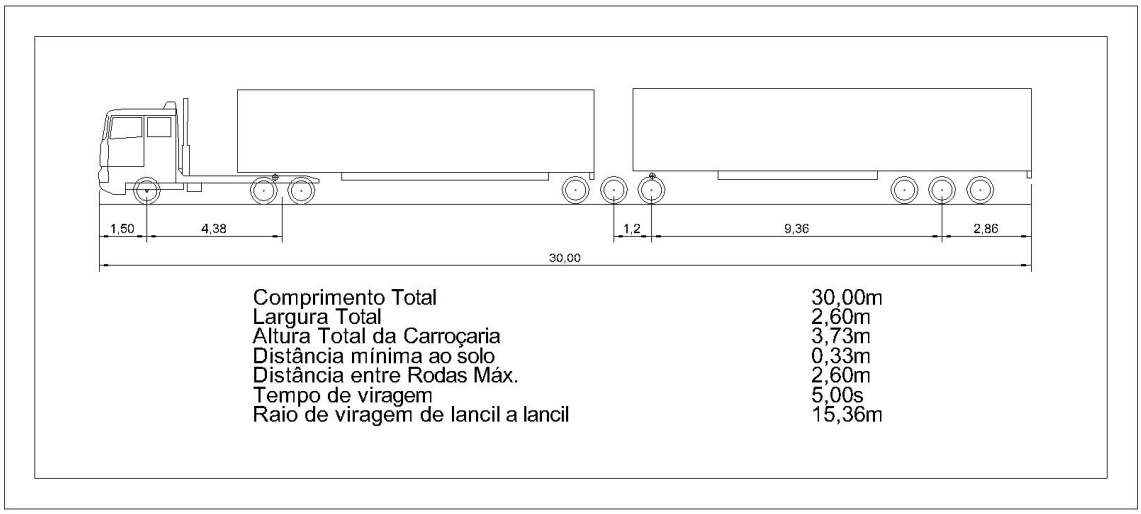
Figura 6 – Perfil longitudinal da PR-498 (Presidente Castelo Branco/PR – Interseção).

Fonte: Autor (2018).

2.1.3 DADOS DE TRÁFEGO

A região em estudo é composta em grande parte por propriedades que fazem o cultivo de cana para produção de açúcar e álcool nas usinas próximas ao local. É conhecido o fato de que esse setor produtivo faz o uso de veículos conhecidos como CVC (Combinação de Veículos de Carga) que podem trafegar pelas rodovias de toda rede viária nacional quando em posse de uma AET (Autorização Especial de Trânsito) concedida pelos órgãos competentes pelas rodovias as quais compõem o trajeto planejado para o veículo. Ocorre que essas combinações possuem dimensões que extrapolam as medidas apresentadas pelo Manual de Projeto de Interseções no DNIT para os *veículos de projeto*[1], podendo chegar a um comprimento máximo de até 30,00 m, veículos estes conhecidos com Rodotrens. Portanto, o veículo adotado para este estudo será a combinação de 9 eixos (conforme figura 7), em razão desse CVC já ser amplamente utilizado para o transporte de cana-de-açúcar e ter o seu gabarito de giro disponível no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010).

Figura 7 - Veículo de projeto BTL – Bitrem de 9 eixos Rodotrem.



Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010).

Deve-se levar em conta que, conforme o edital nº 122/2017 do DER/PR, o grande problema a ser resolvido nessa interseção é possibilitar que os veículos combinados (caminhões canavieiros) que utilizam o entroncamento, realizem as manobras de conversão de

maneira segura. A simples observância das dimensões da interseção e das dimensões dos CVC já nos possibilita perceber que há, no mínimo, uma dificuldade desses veículos realizarem as conversões convenientemente, levando-os a realizarem manobras irregulares colocando a segurança dos usuários em risco.

Portanto, sabe-se que a questão central não é resolver problemas relacionados à capacidade do entroncamento e sim, problemas relacionados a geometria do dispositivo. Por conseguinte, para elaboração do estudo, será utilizada a estimativa de tráfego trazida no termo de referência do edital nº 122/2.017 do DER-PR, onde é mencionado que o tráfego que passa pela interseção gira em torno de 2.000 veículos/dia.

2.1.4 DADOS DE ACIDENTES

Para obtenção dos dados de acidentes do trecho em estudo, foram realizadas consultas ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, no âmbito da Superintendência Regional Noroeste. A consulta realizada revelou a ocorrência de 12 acidentes, com um total de 0 mortes e 12 feridos, entre as datas de 01/01/2012 à 01/10/2018, sendo que 5 acidentes deixaram feridos e 7 deles não deixaram vítimas de nenhuma natureza**.** Os acidentes foram classificados quanto ao tipo, tendo havido 1 colisão frontal, 2 colisões longitudinais, 6 colisões transversais, e 2 colisões classificadas como choque com barranco. Os eventos aconteceram principalmente às segundas e terças-feiras, sendo 4 às segundas e 3 às terças.

Dados da Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea – Relatório de Pesquisa (IPEA, 2015) informam que o custo médio para a sociedade de um acidente com vítimas (sem fatalidade) é de R$ 96.747,49, enquanto que para os acidentes sem vítimas é de R$ 23.498,77. Associados aos dados levantados junto ao DER/PR, é possível estimar que os acidentes ocorridos da interseção entre as rodovias PR-498 e PR-554 geraram um custo de R$ 648.230,34 para a sociedade, desconsiderando correções inflacionárias para os dias atuais.

Os dados revelados deixam claro que o entroncamento em estudo é um ponto crítico em termos segurança, e justificam a elaboração de um projeto de adequação de geometria que traga melhores condições para realização das conversões, e que sejam capazes de atender também os caminhões de grande porte que trafegam pelo local.

2.1.5 DADOS ECONÔMICOS

O custo de implantação também é um fator determinante para a escolha da geometria mais adequada, tendo em vista que a área ocupada pela interseção influencia tanto nos valores de desapropriação, quanto de construção. Além disso, há uma significativa diferença de custo entre interseções em nível e interseções em desnível, tento esta última um custo muito superior em relação à primeira, quando projetadas sob as mesmas condições.

2.2 SOLUÇÃO PROPOSTA

À luz dos dados disponíveis para a escolha da melhor geometria para solucionar o problema existente na interseção entre as rodovias PR-498 e PR-554, localizada no município de Presidente Castelo Branco – PR, entendendo que a situação exposta pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná requer uma adequação geométrica que providencie raios de giro compatíveis com os CVC que utilizam o entroncamento e ainda levando em conta os aspectos econômicos que limitam a escolha geométrica, optou-se por realizar os estudos de viabilidade de implantação de uma rótula.

A escolha se justifica principalmente pelas limitações físicas e motoras dos veículos canavieiros que além de possuírem um raio mínimo de giro elevado, normalmente também possuem uma relação peso/potência que os desfavorecem em velocidades baixas. Em razão disso, é importante conferir uma prioridade de tráfego a esses veículos enquanto desenvolvem as conversões, independentemente do trajeto que estes estejam executando. A interseção mais utilizada e, portanto, a mais conhecida pelos usuários, que oferece essa prioridade aos veículos que estão desenvolvendo suas conversões é a chamada *rótula moderna*.

As rótulas ou rotatórias são um tipo de interseção em nível, o que favorece sua implantação em um terreno com pouca declividade como o estudado. São classificadas em *modernas* e *convencionais*, sendo a principal diferença entre elas a prioridade do tráfego que as utilizam, ficando a preferência estabelecida para os veículos que circulam a rotatória nas modernas e a prioridade para o tráfego que vier pela direita nas convencionais. Além disso, as rótulas convencionais possuem um critério de projeto a mais que as rótulas modernas, que é o comprimento mínimo do trecho de entrecruzamento. Segundo o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), a rótula convencional é um tipo de solução que deve ser utilizada

somente em casos especiais, justamente por não conferirem a prioridade para o tráfego que circula pela rotatória, aumentando o risco de acidentes.

Segundo o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), nas rotatórias modernas são colocados sinais de “Dê a preferência” e “Parada Obrigatória” para o tráfego que chega na rótula, obrigando os veículos a esperarem um intervalo adequado para se inserirem no fluxo. Além disso, os veículos que chegam na rotatória são canalizados por ilhas divisórias, e a visão da ilha central complementa a orientação dos veículos para girarem no sentido anti-horário.

> Outro princípio operacional de destaque é a velocidade desenvolvida pelos veículos nas aproximações. Ela deve ser reduzida, pois as características de projeto impedem que os veículos atravessem direto a interseção. Consequentemente, os movimentos de giro não poderão ser realizados a velocidades incompatíveis com a segurança, sobretudo no caso de veículos mais pesados. Também o fato dos veículos entrando terem que ceder a vez àqueles que já circulam na rotatória impede que as velocidades sejam elevadas, com importante reflexo na redução dos acidentes. (MANUAL DE PROJETO DE INTERSEÇÕES. DNIT, 2005).

Ainda de acordo com o Manual, a segurança na rotatória é obtida quando o tráfego que a utiliza é forçado pela geometria a circular em velocidades baixas, o que por sua vez é alcançado com raios de giro pequenos e faixas de circulação estreitas. Por outro lado, é necessário atender o maior veículo de projeto que utilizará a rotatória, o que fixa limites mínimos de curvatura e largura das faixas. Dessa maneira, é preciso buscar o equilíbrio nas dimensões, de forma que a segurança seja alcançada sem prejudicar a realização de manobras pelos CVC.

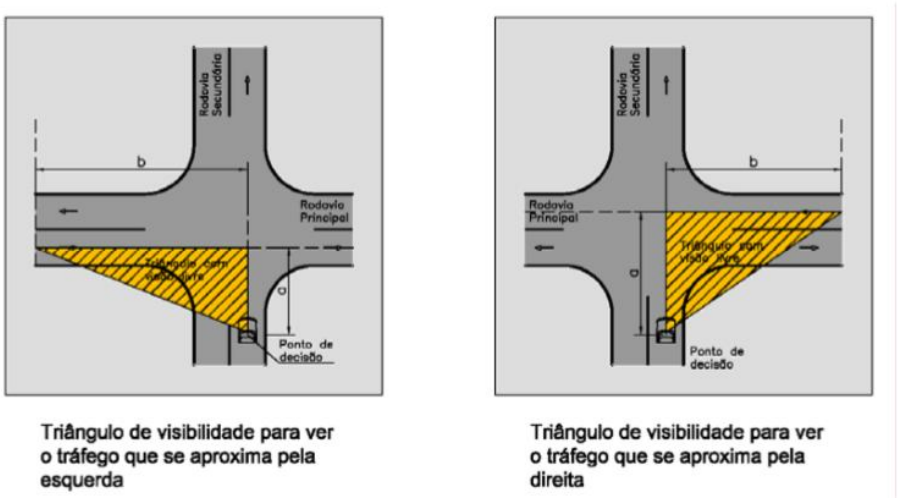
2.2.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS

2.2.1.1 TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE PARA VEÍCULOS PARADOS NA PR-554 COM INTENÇÃO DE GIRO À DIREITA – CASO B2

Segundo o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), ao se aproximar de um entroncamento, os veículos devem possuir uma visão clara e desobstruída de toda a interseção e também de parte dos ramos de acesso, para que os mesmos possam observar o tráfego conflitante e decidir qual manobra é a mais adequada para a situação. Ainda segundo o Manual, essa distância é função das velocidades dos veículos envolvidos, do tempo de percepção e reação e do tempo de frenagem. Esse campo de visão necessário em uma

interseção é denominado de triângulo de visibilidade, que é separado em triângulo de visibilidade para o tráfego em movimento e para o tráfego parado (ilustrado na figura 8).

Figura 8 – Triângulo de visibilidade para o tráfego parado.



Fonte: Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005).

O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) recomenda valores a serem adotados para as distâncias de visibilidade do triângulo de acordo com o tipo de controle de tráfego adotado na interseção.

De acordo com a norma norte-americana *A Policy of Geometric Design of Highways and Streets* (AASHTO, 2011), para os veículos que aguardam na rodovia secundária para realizarem o giro a direita na rodovia principal, deve-se atender o triângulo de visibilidade para o tráfego da rodovia principal que se aproxima pela esquerda. A distância de visibilidade é calculada pela fórmula:

$$DVI = 0{,}278\ Vp\ tg$$

onde:

DVI = distância de visibilidade necessária ao longo da via principal (m)

Vp = velocidade diretriz da rodovia principal (km/h)

tg = intervalo de tempo entre veículos da rodovia principal aceitos por veículos procedentes da rodovia secundária (s)

Logo, sabendo que para o caso em estudo tg=14,1 com base no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010) e em A policy of geometric design of highways and streets (AASHTO, 2011), obteve-se a seguinte medida:

DVI = 0,278 80 14,1 **≈ 315 m**

2.2.1.2 DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA

De acordo com Manual de Projeto de interseções (DNIT, 2005), "A distância de visibilidade de parada é a que permite ao motorista, cuja vista se acha à altura de 1,10 m da pista, parar o veículo antes de alcançar um obstáculo com 0,15 m de altura". Com os perfis longitudinais dos greides de aproximação da interseção foi possível verificar que as distâncias de visibilidade de parada dos veículos que se aproximam do entroncamento pelos municípios de Floraí/PR e São Jorge do Ivaí/PR estão dentro dos valores mínimos previstos no Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) para a atual velocidade de operação das vias, não sendo necessárias adequações nos greides para a concepção de uma interseção mais segura.

Segundo o Manual, em todos os ramos da interseção deve ser prevista uma distância de visibilidade de parada acima da mínima.

O valor mínimo da distância de visibilidade de parada é expresso pela seguinte fórmula:

$$D = 0,7\ V + V^2/(255[i+f])$$

onde:

D = distância de visibilidade de parada, em m

V = velocidade diretriz ou média de viagem, em km/h

f = coeficiente de atrito entre pneu e pavimento molhado no caso de frenagem

i = greide, em m/m (positivo no sentido ascendente e negativo no sentido descendente)

A seguir, são demonstrados os cálculos para obtenção das distâncias de visibilidade de parada de todas aproximações da interseção:

- PR-498 (Sentido Floraí – Interseção – Ramo 1):
  Velocidade diretriz adotada: 80 km/h
  Inclinação (i): 0,0305 m/m

f: 0,30 (conforme tabela do Manual de Projeto Geométrico (DNIT, 1.999))

$D = 0{,}7.80 + 80^2/(255(0{,}30+0{,}0305)) \approx 132{,}00$ m

- PR-498 (Sentido Presidente Castelo Branco – Interseção – Ramo 2):

  Velocidade diretriz adotada: 80 km/h

  Inclinação (i): -0,008 m/m (leve declive observado nos últimos 100 m da aprox.).

  f: 0,30 (conforme tabela do Manual de Projeto Geométrico (DNIT, 1.999))

  $D = 0{,}7.80 + 80^2/(255(0{,}30-0{,}008)) \approx 141{,}95$ m

- PR-544 (Ramo 3):

  Velocidade diretriz adotada: 80 km/h

  Inclinação (i): 0,0253 m/m

  f: 0,30 (conforme tabela do Manual de Projeto Geométrico (DNIT, 1.999))

  $D = 0{,}7.80 + 80^2/(255(0{,}30+0{,}0253)) \approx 133{,}00$ m

Para as aproximações na rodovia PR-554 (ramo 3) e rodovia PR-498 sentido Floraí - Interseção (ramo 1) foi possível desenvolver os gabaritos de visibilidade (anexo V), com base nos perfis longitudinais disponíveis de tais trechos, obtidos através de um levantamento topográfico realizado para o georreferenciamento de uma propriedade lindeira a interseção, conforme já mencionado no item 2.1.2.1 e também por essas aproximações não serem dotadas de curvas horizontais. Os gabaritos de visibilidade revelaram que os greides encontram-se atendendo as distâncias mínimas estabelecidas pelo Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005).

Para o ramo 2, devido à baixa precisão do levantamento realizado com GPS de navegação, não foi elaborado o gabarito de visibilidade para a elaboração do estudo. No entanto, uma adequação seria necessária nesta aproximação, pois através de inspeção visual realizada no local é possível perceber que o trecho é dotado de uma curva horizontal que dificulta a visibilidade, tanto dos veículos que estão parados na rodovia PR-554 com intenção de inserir-se na interseção, quanto para aqueles que se aproximam pela própria rodovia PR-498, que não têm boa visibilidade da interseção, como mostra a foto 1. Logicamente, levantamentos topográficos com precisão seriam fundamentais para a realização da adequação.

Foto 1 – Aproximação da PR-498 (Sentido Pres. Castelo Branco/PR – Interseção).

Fonte: Autor (2018)

2.2.1.2 DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE PARA TOMADA DE DECISÃO

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico (DNIT, 1999) a distância de visibilidade de parada normalmente é suficiente para que motoristas razoavelmente atentos percebam situações ordinárias na pista e executem paradas de emergência. No entanto, quando há dificuldade de percepção da situação perigosa essa distância pode não ser suficiente, mesmo quando há sinalização adequada. A Distância de Visibilidade para Tomada de Decisão é quem fornece o comprimente ideal para estas circunstâncias.

> "Distância de Visibilidade para Tomada de Decisão é a distância necessária para que um motorista tome consciência de uma situação potencialmente perigosa, inesperada ou difícil de perceber, avalie o problema encontrado, selecione o caminho a seguir e a velocidade a empregar e execute a manobra necessária com eficiência e segurança." (MANUAL DE PROJETO GEOMÉTRICO. DNIT, 1999).

Para ambas as rodovias envolvidas na interseção em estudo, têm-se uma velocidade diretriz de 80 km/h, o que fornece um comprimento de 230,00 m de Distância de Visibilidade para Tomada de Decisão segundo o Quadro 5.3.2.1 do Manual de Projeto Geométrico (DNIT, 1999). Os gabaritos de visibilidade para os ramos 1 e 3 foram elaborados (anexo VI) e permitiram averiguar o atendimento deste quesito com os greides atuais das rodovias, não sendo necessárias adequações dos mesmos.

2.2.1.3 CURVAS HORIZONTAIS

De acordo com o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), dentre as curvas que pode-se utilizar em uma interseção, encontram-se as curvas circulares simples, compostas de dois ou três centros ou com curvas de transição em espiral.

É fato que as curvas circulares simples possuem maior facilidade executiva comparadas as outras, em geral, são mais difíceis de locar. Mas em contrapartida, o Manual e Projeto de Interseções (DNIT, 2005) explica que o eixo traseiro de um veículo, realiza uma trajetória que se aproxima mais das curvas com transição em espiral e das curvas compostas do que das curvas circulares simples, especialmente quando se trata de veículos de grande porte.

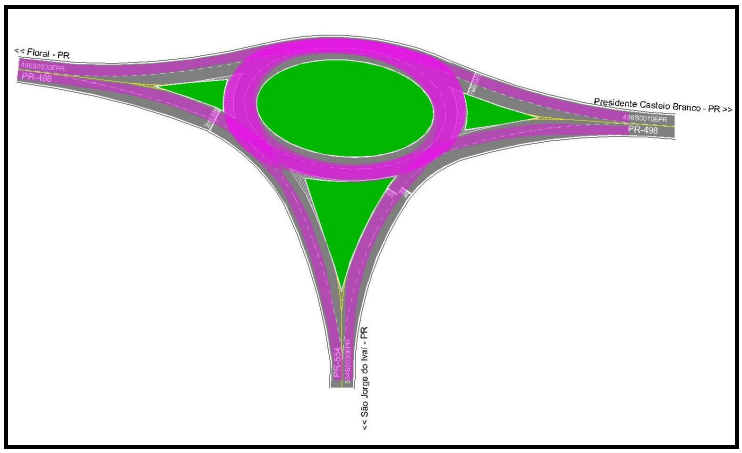
Para o pré-dimensionamento dos raios das curvas da interseção foram utilizados os dados constantes no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010) para obtenção dos valores mínimos de curvatura, bem como o gabarito de giro (Conforme o quadro 1 e a figura 9).

Quadro 1 – Dimensões e raios mínimos do VP - BLT

Características / Veículo	Largura total	Comprimento total	Raio mín. da roda externa dianteira	Raio de giro do eixo dianteiro (RED)	Raio mín. da roda interna traseira
Bitrem longo / Rodotrem (BLT)	2,60 m	30,00 m	16,60 m	15,40 m	3,90 m

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010)

Figura 9 – Croqui da solução proposta com gabaritos de giro das manobras de retorno.



Fonte: Autor (2018)

Com os dados obtidos nas tabelas de raio mínimo foi elaborado um croqui para visualização da solução proposta, cujo conteúdo mais detalhado encontra-se no anexo I deste trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento dos dados básicos durante a elaboração deste trabalho, foi possível averiguar uma divergência entre as velocidades projeto (50 km/h) e operação (80 km/h) da rodovia PR-554, o mesmo não foi possível verificar para a PR-498. Segundo o Manual de Projeto Geométrico (DNER, 1999), “a velocidade diretriz não deve ser inferior às velocidades de operação que efetivamente deverão predominar”, isso compromete a segurança da via de maneira geral, inclusive nos pontos de interseção, uma vez que a maioria dos elementos da geometria foram calculados com base na velocidade inferior, como por exemplo as distâncias visibilidade.

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico (DNER, 1999), velocidades diretrizes elevadas são desejadas por aumentarem a segurança, o conforto e a velocidade média de viagem.

> Por outro lado, um dos principais fatores que governam a adoção de valores para a velocidade diretriz é o custo de construção resultante. Velocidades diretrizes elevadas, por mais desejáveis que sejam, requerem características geométricas mais amplas – principalmente no que tange a curvas verticais e horizontais, acostamentos e larguras – que, salvo condições muito favoráveis elevarão o custo de construção substancialmente. (MANUAL DE PROJETO GEOMÉTRICO. DNER, 1998).

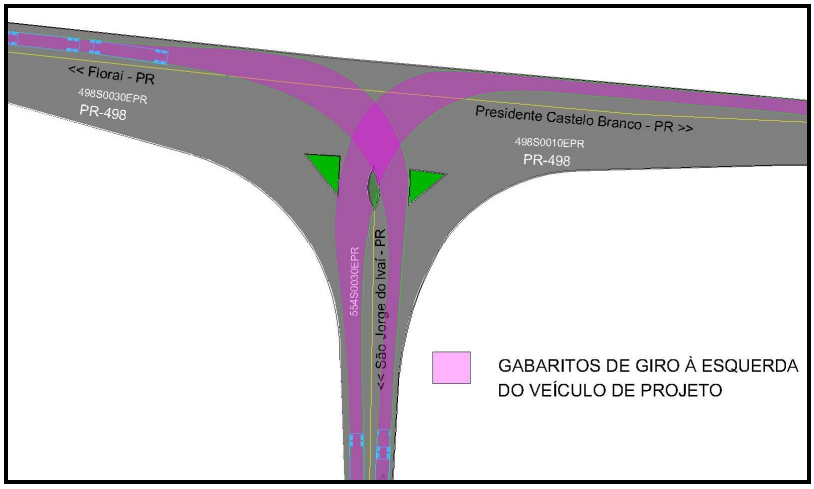
Apesar dessa constatação, com o perfil longitudinal da rodovia PR-554 foi possível verificar que a distância de visibilidade mínima de parada está sendo respeitada na aproximação do entroncamento. Contudo, em inspeção visual realizada no local, é observável que no período noturno a visibilidade da interseção, principalmente para o tráfego que circula pela rodovia PR-498 é bastante prejudicada pela inexistência de pontos de iluminação do local. Esse deve ser o fator gerador de frenagens abruptas no entroncamento, como mostra a foto 2.

Foto 2 – Aproximação da PR-498 (Sentido Floraí/PR – Interseção).

Fonte: Autor (2018).

Outra deficiência encontrada durante o levantamento dos dados básicos da interseção foi quanto à não adoção de veículos de projeto maiores que 19,80 m por parte do Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005), sendo esta uma das principais referências do país para elaboração de projetos de interseções de estradas rurais. Essa deficiência resulta em características geométricas mínimas subdimensionadas em casos como o exposto neste trabalho. Um croqui de situação do atual entroncamento (figura 10) comprovou a incompatibilidade dos raios de giro com o mínimo recomendado pelo Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (DNIT, 2010) para o veículo de projeto.

Figura 10 – Geometria do atual entroncamento e gabaritos dos giros à esquerda.

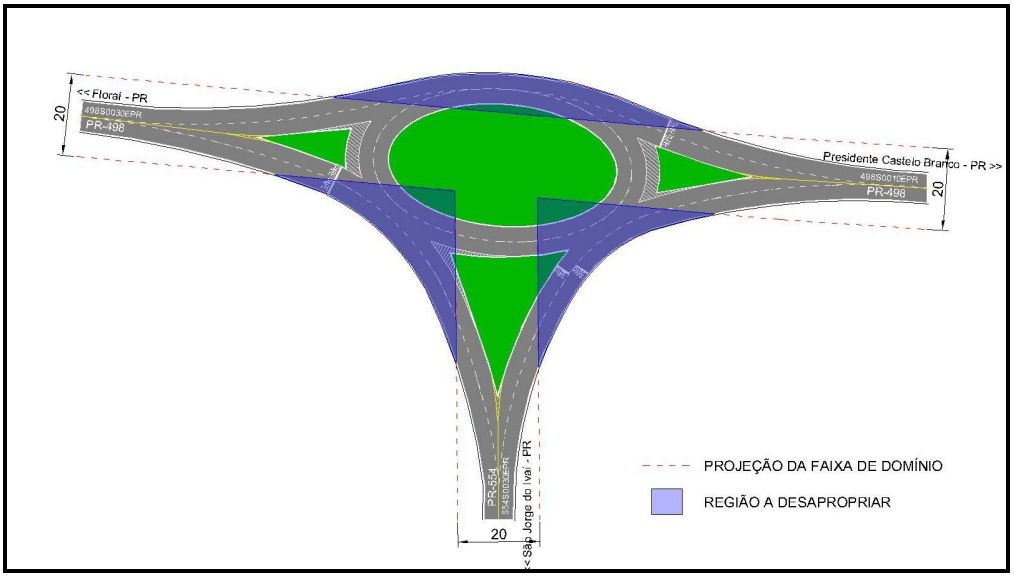


Fonte: Autor (2018).

Para a solução da situação em tela, foi proposta a adequação geométrica da interseção com a implantação de uma rótula moderna. Isto porque, de acordo com o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) “Diversos estudos mostram que rótulas reduzem o número e severidade dos acidentes nas interseções em que são aplicadas”. Ademais, com o levantamento das características topográficas da região em estudo por meio de satélites e acervos fundiários do INCRA, o terreno local mostrou-se apto para a implantação de uma rotatória, por se tratar de uma solução de um único nível, não sendo necessárias para sua execução, adequações nos greides da rodovia e nem grandes movimentações de solo.

A solução proposta levou em conta todos os parâmetros obtidos na etapa de levantamento de dados, inclusive buscando a melhor relação custo-benefício possível para a adequação. Isso levou a elaboração do estudo considerando a execução de uma rótula alongada, ou seja, com a ilha central em forma elipsoidal, o que confere aos veículos que trafegam pela PR-498 raios maiores nas aproximações, aumentando o conforto e a segurança. Além disso, essa configuração é financeiramente vantajosa por ocupar menos espaço fora da faixa de domínio, resultando em uma pequena área a desapropriar. Nesta simulação, a área necessária de desapropriação seria equivalente a aproximadamente 1.623,00 m², considerando que seria desapropriado somente a área pavimentada, sem levar em conta possíveis taludes de corte e aterro que surgiriam com a movimentação de solo.

Figura 11 – Região a desapropriar.



Fonte: Autor (2018)

Com o auxílio de outros manuais foram obtidas as dimensões e gabarito de giro dos veículos que normalmente são utilizados para o transporte de cana-de-açúcar na região, os chamados caminhões canavieiros. Além disso, também foram obtidos os valores mínimos dos raios de giro e distâncias de visibilidade para esses veículos, sendo possível elaborar um croqui de adequação, que serviria como um ponto de partida para uma situação prática.

4. CONCLUSÃO

Em decorrência de inúmeros acidentes no entroncamento entre as rodovias PR-498 e PR-554, aliado ao fato de que as características topográficas da interseção não atendem as dimensões físicas dos CVC que fazem uso da mesma, torna-se viável e recomendada a sua adequação geométrica.

É de se levar em conta que os projetos de interseções rodoviárias demandam uma série de estudos que visam encontrar um equilíbrio no dimensionamento, dentre eles, o estudo do tráfego a ser atendido pelo dispositivo. No entanto, a falta de abrangência do Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) quanto à adoção dos veículos de projeto maiores que 19,80 m, que são permitidos a circular nas rodovias brasileiras quando em posse de uma AET (Autorização Especial de Trânsito), torna a principal referência para este tipo de projeto carente de parâmetros capazes de atender a esses veículos e evitar o problema encontrado nessa situação.

O estudo realizado resultou na proposta de adequação geométrica por meio da implantação de uma rótula moderna. Diversos estudos ainda são necessários para a verificação da viabilidade dessa proposição, como o próprio estudo de tráfego supracitado e estudos econômicos avaliando os custos de implantação e desapropriação de terras necessárias para a construção da rotatória, além de estudos de impacto ambiental, social e econômico para região.

Além disso, sugere-se que seja realizada a implantação de iluminação pública na interseção, cuja responsabilidade é municipal, apesar de se tratar de rodovia estadual, conforme entendimento jurídico atual.

5. REFERÊCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **A Policy of Geometric Design of Highways and Streets**. 6th ed. Washington, D.C., 2011.

ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS. **A policy on geometric design of rural highways**. Washington, D.C., 1965.

BRASIL. Resolução nº 663 de 19 de abr. de 2017. DENATRAN (CONTRAN), Disponível: <www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao6632017.pdf> Acesso em: 3 de ago. de 2018.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. **História das Rodovia do Estado.** Disponível: < www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=7> Acesso em: 10 de ago. de 2018.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. Diretoria de Engenharia. **Notas Técnicas de Projeto Geométrico**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Ministério dos Transportes. Diretoria De Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Ministério dos Transportes. Diretoria De Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Normas para o projeto das estradas de rodagem**. Reimpr. Rio de Janeiro, 1973.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. **Manual de Projeto de Interseções**. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Acervo fundiário.** Disponível: < acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php> Acesso em: 2 de ago. de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Densidade Demográfica do Estado do Paraná.** Disponível: <www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=41> Acesso em: 25 de out. de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea – Relatório de Projeto.** Brasília, 2015.