

PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UM NÓ EM MEIO TREVO - GEOMETRIA

FLÁVIO ALBERTO ALVES DA COSTA

Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Ao meu Avô

Sometimes the road less traveled is less traveled for a reason

Jerry Seinfeld

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França pelo conhecimento transmitido e disponibilidade demonstrada durante a realização deste trabalho.

À minha família, em particular aos meus pais, por todo o apoio prestado ao longo do meu percurso académico.

Aos meus amigos pelos momentos felizes que me proporcionaram ao longo da minha vida.

RESUMO

Este trabalho tem como objectivo a definição geométrica de um nó de ligação de duas estradas, com recurso a um programa informático de desenho, demonstrando os conhecimentos adquiridos ao longo dos cinco anos que compõem o Mestrado Integrado em Engenharia Civil.

O relatório está dividido em 5 capítulos: Introdução, Normas, Projecto Geométrico, Conclusão e Anexos.

O capítulo das Normas representa um resumo da documentação seguida na definição do nó de ligação.

No capítulo seguinte será explicado todo o procedimento efectuado na definição geométrica do nó de ligação. Pretende-se que este capítulo possa servir como um exemplo da abordagem ao uso de programas informáticos de desenho aplicados à geometria de nós de ligação, demonstrando também algumas das suas potencialidades.

No capítulo de Anexos será apresentado o Projecto desenvolvido incluindo as tabelas com as características das directrizes definidas e também as peças desenhadas, fundamentais a uma fácil percepção do nó de ligação.

PALAVRAS-CHAVE: NÓ, MEIO-TREVO, RAMO, DIRECTRIZ, RASANTE

ABSTRACT

The goal of this dissertation is the geometric design of an interchange. This is accomplished with the aid of a graphics design computer program and the knowledge obtained throughout the five years composed by the Masters in Civil Engineering.

This document is divided up into four chapters: Introduction, Standards, Geometric Project Design, Conclusion and Appendices.

The Standards chapter presents a summary of the documentation followed in the design of the interchange.

In the following chapter the procedure leading up to the interchange design is explained. Along the chapter, the functionalities of the computer programs used in the geometric design of the interchange are presented. It is hoped that this chapter can be used as future reference for this purpose.

In the Appendices chapter all the detailed data regarding the interchange is presented, which allows for an easy understanding on the topic. This data includes data tables of the defined directrices as well as some drafts and profiles.

KEYWORDS: INTERCHANGE, CLOVERLEAF, RAMP, DIRECTRIX, TANGENT

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. NORMAS	3
2.1. NORMA DE NÓS DE LIGAÇÃO	3
2.1.1. TIPOS DE NÓS DE LIGAÇÃO	4
2.1.1.1. Nó em diamante	4
2.1.1.2. Nó em trevo	5
2.1.1.3. Nó em trompete	7
2.1.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	7
2.1.2.1. Trainéis	7
2.1.2.2. Localização e Características das Intersecções dos Ramos de Ligação com a Estrada Secundária	8
2.1.2.3. Sobreelevação	8
2.1.2.4. Sobrelargura	11
2.1.2.5. Curvas de Transição	11
2.1.2.6. Entradas e Saídas da Estrada Principal	12
2.1.2.7. Número de Vias	13
2.1.2.8. Controle de Acessos	14
2.2. NORMA DE INTERSECÇÕES	14
2.2.1. DADOS NECESSÁRIOS À ELABORAÇÃO DO PROJECTO	17
2.2.2. TIPO DE INTERSECÇÕES	18
2.2.2.1. Prioridade dos Movimentos Principais	18
2.2.2.2. Áreas de Conflito	18
2.2.2.3. Ângulo da Intersecção	18
2.2.2.4. Pontos de Conlito	19
2.2.2.5. Viragens	19
2.2.2.6. Afunilamento	19

2.2.2.7. Áreas de Refúgio	19
2.2.2.8. Vias de Aceleração e Desaceleração	20
2.2.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.....	20
2.2.3.1. Ilha Separadora	22
2.2.3.2. Ilhas Direccionais.....	24
2.2.3.3. Curvas de Concordância com a Estrada Principal.....	26

3. PROJECTO GEOMÉTRICO

3.1. DADOS

3.2. PROJECTO EM LAND DESKTOP.....

3.3. ELABORAÇÃO DO PROJECTO GEOMÉTRICO.....

3.3.1. DEFINIÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL

3.3.2. DEFINIÇÃO DO RAMO INTERIOR EM PLANTA

3.3.2.1. Quadrante I.....

3.3.2.2. Quadrante III.....

3.3.3. DEFINIÇÃO DO RAMO DIRECTO EM PLANTA.....

3.3.4. DEFINIÇÃO DO TRAÇADO DAS INTERSECÇÕES.....

3.3.5. PERFIS LONGITUDINAIS DOS RAMOS

3.3.5.1. Elaboração do Modelo Digital do Terreno.....

3.3.5.2. Elaboração de Perfis Longitudinais do Terreno

3.3.2.3. Desenho das Rasantes

4. CONCLUSÃO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

A.1. CARACTERÍSTICAS DAS ESTRADAS

A.2. PEÇAS DESENHADAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Nó em Diamante	4
Fig.2.2 – Nó em Trevo.....	5
Fig.2.3 – Possibilidades de Traçado das Ligações.....	6
Fig.2.4 – Nó em Trompete	7
Fig.2.5 – Disfarce da Sobre elevação	10
Fig.2.6 – Saídas em Curva.....	13
Fig.2.7 – Controle de Acessos	14
Fig.2.8 – Esquema do Traçado da Ilha Separadora	24
Fig.2.9 – Esquema do Traçado das Ilhas Direccionais.....	25
Fig.3.1 – Criação de Novo Projecto	28
Fig.3.2 – Planta Inicial	28
Fig.3.3 – Perfil Longitudinal da Estrada Principal	29
Fig.3.4 – “Drawing Setup – Units”	30
Fig.3.5 – “Drawing Setip – Scale”.....	30
Fig.3.6 – “Drawing Setup – Text Style”	30
Fig.3.7 – Perfil Longitudinal Reduzido da Estrada Principal	31
Fig.3.8 – Local de Implantação do Nó de Ligação.....	31
Fig.3.9 – Representação da Posição da Bissectriz.....	32
Fig.3.10 – Definição de um Alinhamento	33
Fig.3.11 – Definição de “offsets”	33
Fig.3.12 – Perfil Longitudinal da Estrada Secundária existente e sua alteração.....	34
Fig.3.13 – Identificação dos Quadrantes	34
Fig.3.14 – Alargamento da Plena Via da Estrada Principal	35
Fig.3.15 – Curva em S	36
Fig.3.16 – Centro da Curva Circular do Ramo Interior do Quadrante I	37
Fig.3.17 – Criação de Curvas de Transição.....	37
Fig.3.18 – Planta do Ramo Interior do Quadrante I	38
Fig.3.19 – Curva Ovóide	38
Fig.3.20 – Planta do Ramo Interior do Quadrante III	39
Fig.3.21 – Perfil Transversal do Ramo Conjunto	40
Fig.3.22 – Planta dos Ramos Directos.....	40

Fig.3.23 – Ilha Separadora da Intersecção do Quadrante I	41
Fig.3.24 – Ilha Separadora da Intersecção do Quadrante III	41
Fig.3.25 – Vias de Viragem à Esquerda da Intersecção do Quadrante I	42
Fig.3.26 – Vias de Viragem à Esquerda da Intersecção do Quadrante III	42
Fig.3.27 – Intersecção do Quadrante I	43
Fig.3.28 – Intersecção do Quadrante III	43
Fig.3.29 – Planta Geral do Nó de Ligação	44
Fig.3.30 – Menu “Select Surface”	45
Fig.3.31 – Modelo Digital do Terreno	45
Fig.3.32 – Menu “Palette Manager”	46
Fig.3.33 – Menu “Section Sampling Settings”	46
Fig.3.34 – Menu “Profile Generator”	47
Fig.3.35 – Perfis Longitudinais do Terreno.....	47
Fig.3.36 – Menu “Vertical Curvas”	49
Fig.3.37 – Exemplo de Curva Vertical	49
Fig.3.38 – Rasantes Desenhadas	50

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Sobrelevação nos Ramos de Ligação	9
Quadro 2.2 – Transição da Sobrelevação nos Ramos de Ligação	9
Quadro 2.3 – Diferença Algébrica Máxima entre as Inclinações Transversais da Estrada Principal e do Ramo de Ligação	10
Quadro 2.4 – Sobrelargura dos Ramos de Ligação.....	11
Quadro 2.5 – Características das Curvas de Transição e Raios Mínimos das Curvas Circulares	12
Quadro 2.6 – Raios das Viragens à Esquerda de Saída da Estrada Secundária	23
Quadro 2.7 – Raios das Viragens à Esquerda de Saída da Estrada Principal.....	23
Quadro 2.8 – Raio Mínimo das Curvas de Viragem à Direita.....	26
Quadro 3.1 – Valores Calculados para a Curva em S.....	37
Quadro 3.2 – Valores Calculados para a Curva Ovíde.....	37
Quadro A.1 - Características da Estrada Principal (Km 12+600.000 a 13+000.000)	
Quadro A.2 - Características da Estrada Secundária Modificada (Km 0+000.000 a 0+625.000)	
Quadro A.3 - Características da Estrada Secundária Modificada (Km 0+628.043 a 0+998.053)	
Quadro A.4 - Características do Ramo Interior do Quadrante I	
Quadro A.5 - Características do Ramo Interior do Quadrante III	
Quadro A.6 - Características do Ramo Directo do Quadrante I	
Quadro A.7 - Características do Ramo Directo do Quadrante III	

INTRODUÇÃO

O presente relatório insere-se na unidade curricular de Projecto/Investigação do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e servirá para demonstrar o conjunto dos processos necessários para a elaboração do projecto de execução de um nó de ligação em meio trevo incompleto, na especialidade de geometria do traçado.

A escolha do tema foi baseada no interesse do autor pelos programas curriculares das disciplinas de Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II, bem como de todas as outras disciplinas que fazem parte do plano de estudos da Opção em Vias de Comunicação, com particular incidência na disciplina de Complementos de Estradas e Aeródromos, essencial para a abordagem dos conceitos mais importantes e indispensáveis à realização deste relatório.

Será efectuado um resumo das normas em vigor e que serviram de base para todo o projecto geométrico que este relatório visa explicar. Esse resumo será feito através de um vasto conjunto de citações das normas assim como se recorrerá a diversos esquemas ilustrativos, também presentes nas referidas normas.

Relativamente ao projecto geométrico em si, será focada, com grande particularidade, toda a componente de desenho assistido por computador assim como todos os cálculos necessários à correcta definição da geometria do nó. As peças desenhadas que serão apresentadas foram elaboradas com recurso ao programa Land Desktop da Autodesk.

Em anexo a este relatório, além das peças desenhadas, serão referidas as características de todos os elementos definidos ao longo da elaboração do projecto.

O programa utilizado é uma ferramenta muito útil para o engenheiro civil, pois, através de um vasto conjunto de comandos, permite a definição automática da geometria dos elementos pretendidos.

É necessário ter em conta que este projecto, embora seja o mais importante na concepção de um nó de ligação, não é o único indispensável à sua correcta construção. Sendo o elemento rodoviário cuja definição é a mais complexa, um nó de ligação exige a elaboração de variados projectos como sejam os de Drenagem de Águas Pluviais, Pavimentação, Sinalização, entre outros.

Além da sua complexidade, este é um tema importante e actual, na medida em que praticamente todas as principais estradas construídas actualmente são ligadas às restantes através deste tipo de estruturas. No caso de remodelações de estradas já construídas, um aspecto muitas vezes focado é a remodelação de nós de ligação existentes ou mesmo a construção de raiz em locais onde anteriormente existiam intersecções de nível. Este ponto permite que sejam eliminados a maior parte dos pontos de conflito das referidas intersecções, contribuindo grandemente para a segurança das mesmas.

NORMAS

2.1. NORMA DE NÓS DE LIGAÇÃO

Este documento, produzido pela já extinta Junta Autónoma de Estradas (JAE), compila as regras actualmente em vigor que devem ser respeitadas aquando da realização de um nó de ligação. Segundo o referido documento, *“um nó de ligação é constituído por um conjunto de ramos que asseguram a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes, concebido com a finalidade de reduzir ou eliminar os pontos de conflito, melhorar a segurança e aumentar a capacidade. Os conflitos devidos aos atravessamentos das correntes de tráfego são sempre eliminados num nó de ligação. Quanto aos conflitos devidos às viragens, podem também ser eliminados, ou pelo menos minimizados, conforme o tipo de nó que for adoptado.*

...

A decisão de construir em nó de ligação é baseada essencialmente em critérios funcionais, tanto mais que as outras razões que podem justificar a sua construção (capacidade e segurança) podem muitas vezes ser satisfeitas com intersecções.” [1]

O documento refere os três elementos necessários para o projecto: tráfego, segurança e meio ambiente. Relativamente ao tráfego, *“os elementos que condicionam o projecto de um nó de ligação são mais complexos do que os necessários para o projecto de um lanço de estrada, pois além do tráfego médio diário, dos volumes horários de projecto, da composição do tráfego e das velocidades, é necessário conhecer também os vários movimentos a que o nó tem de satisfazer, e as características específicas de cada um desses movimentos.*

Os estudos prévios de tráfego, necessários para o projecto de um nó de ligação são diferentes conforme se trata de resolver um problema existente, sem modificações substanciais na rede viária existente, ou pelo contrário se se situa numa nova estrada cujo tráfego circulava anteriormente por outras estradas.

No primeiro caso é indispensável conhecer a situação concreta do tráfego na intersecção que se pretende substituir e os movimentos específicos que se verificam na mesma.

Quando porém se trata do projecto de um nó de ligação localizado numa nova estrada é necessário um estudo de tráfego mais complexo recorrendo-se normalmente a estudos de origem-destino, a partir dos quais, e com o recurso a modelos se determinam as características do tráfego referidas anteriormente.

...

Quanto à segurança deve-se sempre analisar as condições operacionais em nós análogos, especialmente quanto às vias de aceleração e desaceleração, raio das curvas e transições, tipos de pavimento e protecção lateral. A fim de se assegurar à condução nocturna condições de segurança idênticas às da condução diurna, os nós de ligação, assim como a sua zona de influência, deverão ser sempre iluminados.” [1]

A integração do nó de ligação no meio ambiente é também uma questão muito importante, pois “um nó de ligação obriga sempre à construção de uma ou várias estruturas, que podem ter um efeito desagradável no meio ambiente, assim como uma maior extensão de vias.” [1]

2.1.1. TIPOS DE NÓS DE LIGAÇÃO

Os principais tipos de nós de ligação existentes estão tipificados na forma de diamante, trevo e trompette. Além destes é possível conceber variantes consoante cada caso específico. “A escolha do tipo de um nó de ligação, assim como o seu projecto é influenciada por muitos factores, sendo os principais os seguintes: velocidade, volume e composição do tráfego, número de ramos que se cruzam, características da rede viária local, topografia, área disponível, condicionamentos urbanísticos, impacto ambiental e custo.” [1]

2.1.1.1. Nó em diamante

Este tipo de nó de ligação é, dos três tipos referidos anteriormente, notoriamente aquele cuja concepção é a mais simples, pois “este tipo de nó tem ramos de ligação com bom traçado, viragens directas na estrada secundária e custos de construção mínimos. Além disso, este tipo de nó é adaptável a uma grande variedade de volumes de tráfego.

A capacidade é limitada pela capacidade das intersecções dos ramos de ligação com a estrada secundária. A capacidade pode ser aumentada alargando os ramos de ligação (duas ou três vias), assim como a estrada secundária, na zona das intersecções.” [1]

Na Fig.2.1 apresentam-se alguns esquemas de possíveis concepções de nós deste tipo.

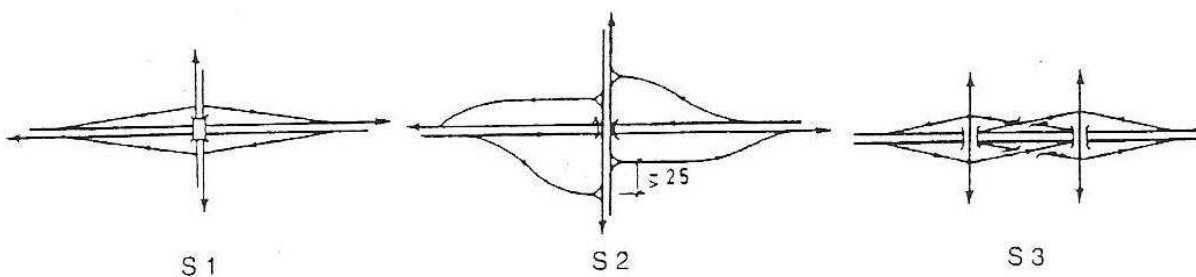


Fig.2.1 – Nó em Diamante

“O traçado tradicional deste nó (S1) só deve ser adoptado no caso de volumes de tráfego diminutos (VHP < 150) na estrada secundária. A solução a adoptar normalmente para o seu traçado deve ser o tipo S2, a qual permite dimensionar convenientemente as vias de viragem à esquerda sem ser necessário alargar a estrutura.

...

No entanto, este tipo de nó tem o inconveniente de favorecer manobras erradas dos usuários da estrada secundária. Essas manobras erradas poderão ser evitadas com a construção de faixas de rodagem unidireccionais na estrada secundária.

...

Quando a estrada secundária cruza em passagem superior sobre a estrada principal, o nó é muito mais visível pelos condutores alertando-os para a sua existência. Além disso, tem a vantagem das saídas serem em rampa e as entradas em declive, o que facilita a desaceleração e aceleração nos ramos de ligação respectivos.

O tipo S3 é aplicável quando é necessário assegurar a ligação a duas estradas secundárias localizadas muito próximas.” [1]

2.1.1.2. Nó em trevo

O nó de ligação em trevo pode assumir três tipos de diferentes constituições: meio trevo incompleto, meio trevo completo e trevo completo. O meio trevo incompleto é constituído por dois ramos de ligação interiores e dois ramos directos, ocupando dois dos quatro quadrantes definidos pelas duas estradas que se cruzam. O meio trevo completo difere apenas do incompleto através da realização de dois ramos de ligação directos nos quadrantes antes não utilizados. Por último, o trevo completo é o tipo de nó mais complexo já que é constituído por um ramo de ligação interior e um ramo directo em cada um dos quatro quadrantes.

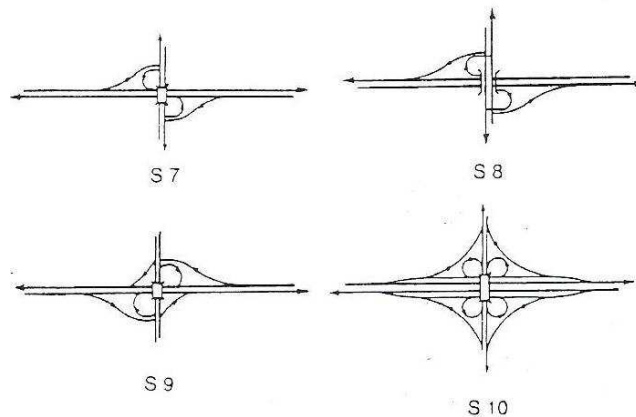


Fig.2.2 – Nó em Trevo

Sobre cada um destes tipos de nó em trevo, a Norma de Nós de Ligação diz o seguinte:

O nó em meio trevo incompleto (tipo S7 e S8) “só deve ser usado quando os condicionamentos locais não permitirem construir um nó do tipo diamante, com ramos de ligação nos quatro quadrantes. Esses condicionamentos locais podem ser devidos à existência de uma via férrea paralela à estrada secundária, distância ao próximo nó de ligação inferior à desejável, etc.” [1]

O nó do tipo meio trevo completo (tipo S9) “é conveniente quando os volumes das viragens são elevados. As viragens à esquerda na estrada secundária são eliminadas, possibilitando a utilização de sinalização luminosa com duas fases nas intersecções com a estrada secundária. Consequentemente, este tipo de nó tem normalmente capacidade suficiente para suportar o tráfego compatível com a estrada secundária.” [1]

O nó em trevo completo (tipo S10) “assegura correntes de tráfego livres para todas as viragens. Tem a desvantagem do seu elevado custo, relativamente ao diamante e ao trevo parcial, e secções de entrecruzamento com pequena extensão, o que limita a capacidade.

Devem portanto considerar-se normalmente vias distribuidoras-colectoras a fim de se separarem os entrecruzamentos do tráfego directo.” [1]

Na Fig. 3 podem ver-se “várias possibilidades para o traçado das ligações interiores, ligações directas e vias colectoras-distribuidoras.” [1]

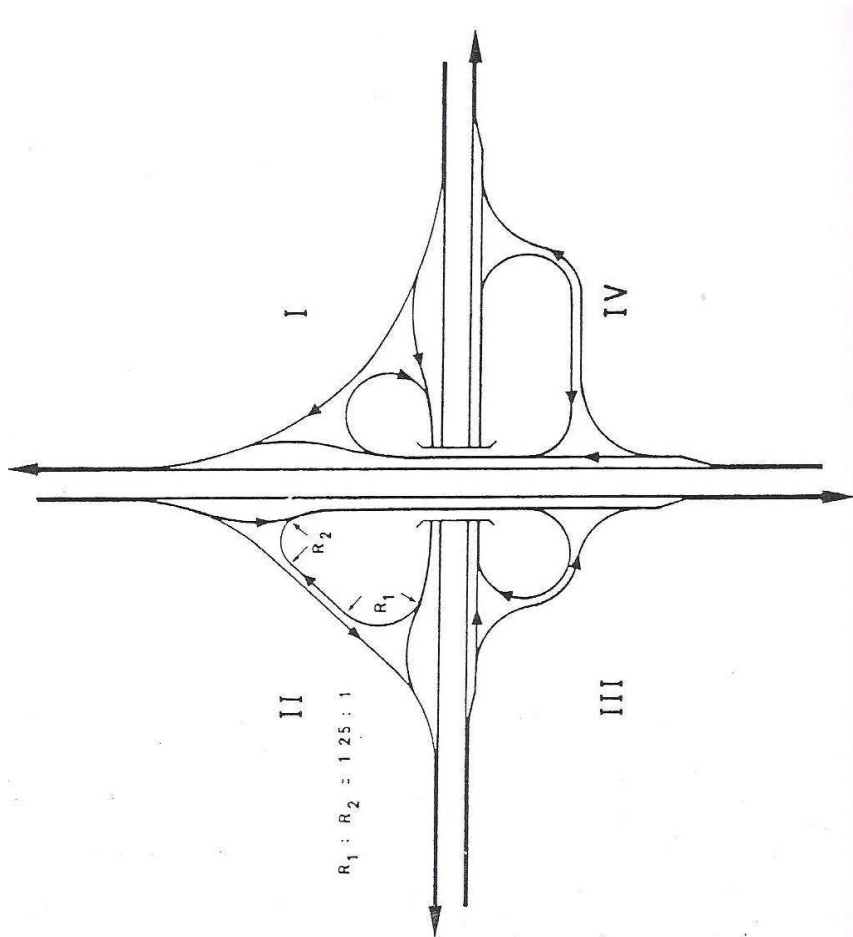


Fig.2.3 – Possibilidades de Traçado das Ligações

“As ligações interiores totalmente em alinhamento curvo (quadrantes I e III), possibilitam um escoamento de tráfego uniforme e, para as áreas disponíveis, a utilização dos maiores ramos possíveis. Este tipo de ligação interior pode ser utilizado desde que as secções de entrecruzamento tenham a extensão necessária. É possível aumentar a extensão de entrecruzamento comprimindo as ligações interiores (quadrante II). No entanto, este traçado implica a redução dos raios das curvas de entrada e de saída, cuja relação deve ser 1,25:1.

As ligações interiores em ângulo raso (quadrante IV) devem ser adoptadas quando se pretende aumentar a extensão da secção de entrecruzamento; quando é necessário grande desenvolvimento devido a fortes inclinações em perfil longitudinal, e sempre que as características locais as impõem (topografia, urbanização, etc.)

As ligações directas do tipo clássico (quadrante I), permitem uma velocidade maior do que as de traçado modificado, implicando normalmente a ocupação de uma maior área. Pelo contrário as ligações directas adaptadas ao traçado das ligações interiores respectivas (quadrantes II, III e IV), ocupam normalmente menos área e diminuem a extensão dos ramos. Essa adaptação obriga porém a raios menores, o que tem como consequência uma diminuição da velocidade. Além disso, o traçado com curva e contra-curva (quadrantes III e IV) pode originar uma defeituosa leitura óptica do traçado, assim como dificuldades de drenagem, devido às variações de sentido da inclinação do perfil transversal em função da sobrelevação.

O traçado das vias colectoras-distribuidoras com alinhamentos curvos (quadrantes I e II) é o mais conveniente no caso de nós giratórios. Com efeito, este traçado permite aumentar a distância entre as divergências e convergências, o que melhora a legibilidade da sinalização de orientação e uma melhor visibilidade do tráfego proveniente da ligação directa. Além disso, o traçado em curva obriga a uma redução da velocidade nas convergências, o que é sempre desejável.” [1]

2.1.1.3. Nó em trompete

O nó em trompete é apenas utilizado “quando a estrada secundária termina na estrada principal, ou seja, entronca com esta. No entanto, estas soluções não devem ser consideradas quando se admite a possibilidade de no futuro a estrada secundária ser prolongada. Neste caso é preferível adoptar uma solução tipo diamante.” [1]

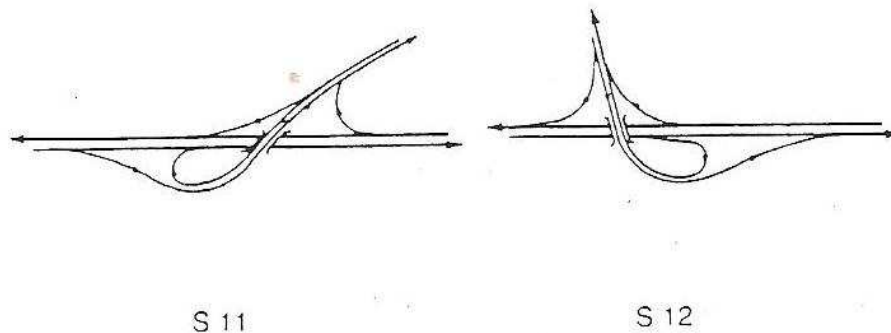


Fig.2.4 – Nó em Trompete

2.1.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

A geometria para cada nó de ligação deve obedecer a um determinado conjunto de regras que estão também definidas no documento a que este capítulo se refere. Estas regras impõem restrições não só ao traçado em planta do nó de ligação como também à sua rasante. De seguida serão referidas as regras mais importantes que servirão de base para a definição do nó de ligação que representa a finalidade deste trabalho.

2.1.2.1. Trainéis

As inclinações dos trainéis devem ser limitadas de forma a não levarem os utilizadores a desenvolver velocidades excessivas ou demasiado reduzidas ao longo da rasante dos ramos dos nós de ligação, o que poderia resultar em acidentes. Chama-se à atenção para o facto da Norma de Nós de Ligação se referir aos trainéis descendentes como declives e aos ascendentes como rampas.

“A inclinação das rampas é geralmente condicionada pela necessidade de se assegurar a distância de visibilidade conveniente. Normalmente, as rampas não devem exceder 8%. No entanto, no caso de declives de entrada na estrada principal e de rampas de saída desta, admitem-se trainéis com 9%, excepto nos declives das ligações interiores de entrada na estrada principal.” [1]

Existem, porém, alguns casos especiais que devem ser tidos em conta. Nas saídas de itinerários principais ou complementares *“as curvas verticais localizadas imediatamente a seguir a uma saída devem ser projectadas para a distância de visibilidade de paragem correspondente a 80 km/h. A partir desta zona podem-se considerar velocidades de projecto progressivamente menores de acordo com as características geométricas do traçado.” [1]*

Nas entradas de itinerários principais ou complementares *“o trainel dos ramos de ligação deve ser sensivelmente paralelo ao do itinerário, pelo menos 30 metros antes da convergência das vias, a fim de se assegurar a inter-visibilidade dos veículos que convergem. A curva vertical na zona do “nariz” deve ser consistente com as características geométricas do ramo de ligação.” [1]*

Relativamente às estruturas, *“os trainéis das passagens superiores ou inferiores à estrada principal são normalmente determinados em função da velocidade base da estrada secundária, ou por condicionamentos locais.” [1]*

2.1.2.2. Localização e Características das Intersecções dos Ramos de Ligação com a Estrada Secundária

Estes factores influenciam em grande escala a capacidade de um nó de ligação, na medida em que, quando definidos de forma incorrecta, podem provocar longas filas de espera ou, em casos extremos, o congestionamento do nó. Neste sentido, a Norma de Nós de Ligação define que *“as rampas de saída devem ligar à estrada secundária numa zona em que o trainel desta seja igual ou inferior a 3%, a fim de se assegurar o rápido arranque dos veículos pesados após paragem no sinal “STOP”.*

No caso da rampa terminar numa concordância convexa da estrada secundária, os últimos 15 metros da rampa devem ter uma inclinação igual ou inferior a 5%. Pode mesmo haver casos em que seja necessário construir um sumidouro para evitar que as águas provenientes da estrada secundária invadam a rampa.

Nos ramos de ligação em declive, a concordância côncava no terminus do ramo deve ter raio mínimo de 30 metros.

As intersecções dos ramos de ligação com a estrada secundária, devem, neste caso, localizar-se em zonas em que a inclinação do trainel desta seja igual ou inferior a 4%.” [1]

2.1.2.3. Sobrelevação

Como referido anteriormente, os ramos dos nós de ligação são, na sua maioria constituídos por curvas (circulares ou de transição), factor que torna importante a profunda análise da evolução da sobrelevação ao longo do traçado dos ramos para que não existam problemas relativos à drenagem das águas pluviais. *“Os princípios gerais que condicionam a sobrelevação a adoptar nas curvas de uma estrada são também aplicáveis aos ramos de ligação. Nestes pode mesmo adoptar-se a sobrelevação de 12% em curvas de raio diminuto, e de sentido único, sempre que não haja perigo de gelo ou neve, devendo nestes casos ser, no máximo, 6% ou 8%.*

No caso porém da extensão das curvas não permitir desenvolver a sobrelevação desejável, deve-se adoptar a máxima possível. Nestes casos deve-se analisar a possibilidade de aumentar o raio da curva, a fim de se reduzir o valor da sobrelevação.

No caso de existirem sinais de “STOP”, ou sinalização luminosa, ou outros condicionamentos que impliquem redução da velocidade, devem-se adoptar valores da sobrelevação inferiores aos normais.” [1]

O Quadro 1.1 mostra os valores para a sobrelevação de acordo com o raio da curva circular do ramo e da velocidade no mesmo.

Quadro 2.1 – Sobrelevação nos Ramos de Ligação

Raio (m)	30 km/h	35 km/h	40 km/h	45 km/h	50km/h	55 km/h	60 km/h
25 – 30	2 – 12	-	-	-	-	-	-
35 – 40	2-10	3 – 12	-	-	-	-	-
45 - 50	2 – 8	3 – 10	4 – 12	-	-	-	-
60	2 – 6	3 – 8	4 – 9	6 – 12	-	-	-
75	2 – 5	3 – 6	3 – 7	5 – 9	7 – 12	-	-
90	2 – 4	3 – 5	3 – 6	4 – 7	5 – 9	8 – 12	-
120	2 – 3	2 – 4	3 – 5	3 – 6	4 – 7	6 – 9	8 – 12
150	2 – 3	2 – 3	3 – 4	3 – 5	4 – 6	6 – 8	7 – 10
175	2 – 3	2 – 3	2 – 4	3 – 4	3 – 5	5 – 7	6 – 8
250	2 – 3	2 – 3	2 – 3	3 – 4	3 – 4	5 – 6	5 – 7
300	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4	4 - 5	4 – 6

“É desejável que, sempre que possível, sejam adoptadas sobrelevações próximas dos valores mais elevados, em princípio compreendidos no seu terço superior. Em qualquer caso a sobrelevação nunca deverá ser inferior a 2%, a fim de se assegurar a drenagem efectiva das águas.” [1]

A transição da sobrelevação deve obedecer a certos valores limite para que não provoque desconforto no utilizador, assumindo ao mesmo tempo um aspecto estético agradável. “Os princípios que se devem considerar nos ramos de ligação são os mesmos que em pleno traçado (...). No entanto, nos ramos pode adoptar-se, sem inconveniente, uma percentagem maior para a variação da sobrelevação.” [1]

Quadro 2.2 – Transição da Sobrelevação nos Ramos de Ligação

Velocidade no Ramo (km/h)	25 a 30	40	50	> 60
Varição máxima da sobrelevação (% / 20 metros de extensão)	5.3	4.7	4	3.3

Deve-se também limitar a diferença algébrica entre as inclinações transversais da estrada principal e do ramo de acordo com os valores do Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Diferença Algébrica Máxima entre as Inclinações Transversais da Estrada Principal e do Ramo de Ligação

Velocidade no Ramo (km/h)	Diferença algébrica máxima (%)
25 a 30	5 a 8
40 a 50	5 a 6
> 60	4 a 5

Na zona de confluência do ramo com a estrada principal, “deve respeitar-se sempre o perfil transversal da estrada principal, pelo que a transição da sobrelevação do ramo deve iniciar-se fora da faixa de rodagem da estrada principal, a uma distância da aresta exterior de 0,3 a 1 metros.” [1]

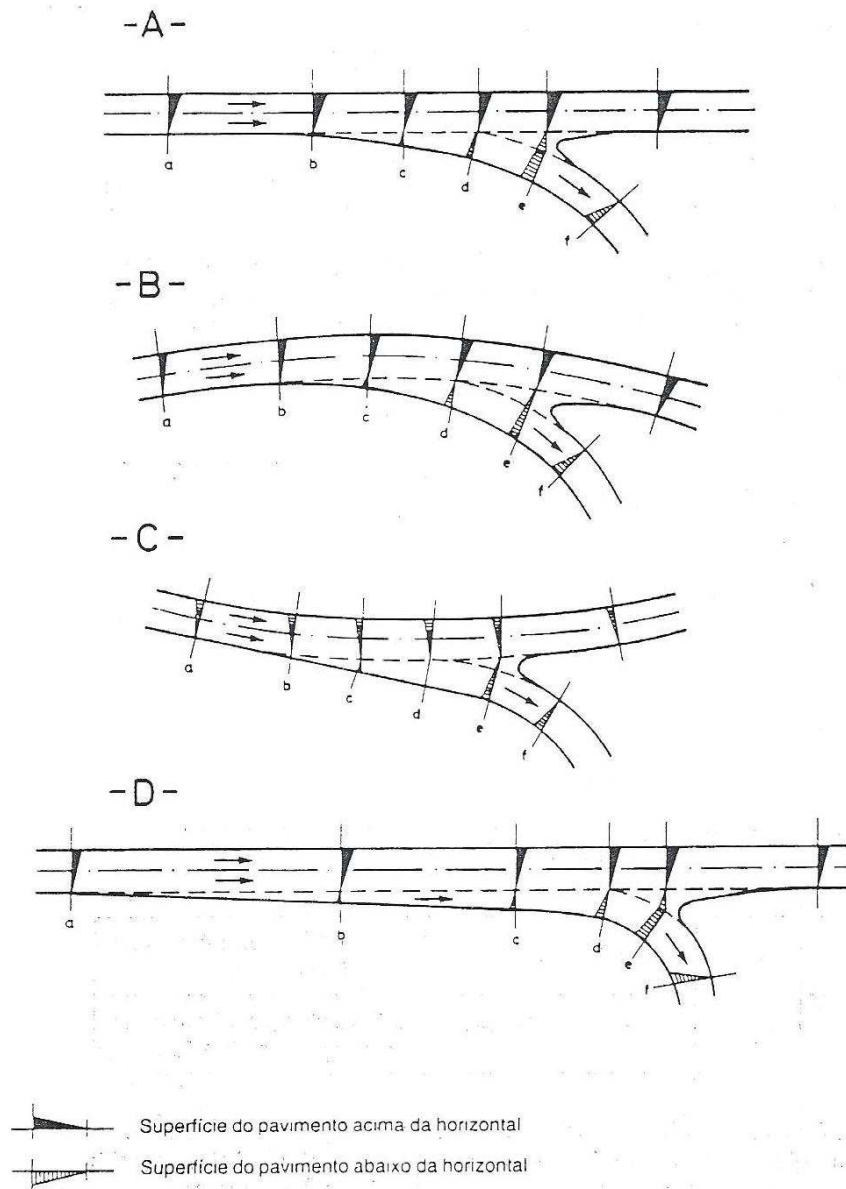


Fig.2.5 – Disfarce da Sobrelevação

2.1.2.4. Sobrelargura

Os 4 metros de largura normal das faixas de rodagem dos ramos de ligação nem sempre permitem que os veículos articulados, pela sua largura e comprimento, descrevam as curvas de forma regular. Assim, é necessário alargar as vias para que os referidos veículos possam percorrer os ramos sem problemas de circulação. *“Quando o raio da curva for inferior a 90 metros e o ângulo dos alinhamentos inferior a 130 grados, devem-se adoptar as sobrelarguras indicadas no Quadro seguinte. No caso do referido ângulo ser superior a 130 grados, não é necessário considerar a sobrelargura.*

As bermas deverão ser pavimentadas e as das curvas de raio inferior a 90 metros devem ter uma constituição igual à da faixa de rodagem, pois admite-se que nestas curvas os veículos pesados possam utilizá-las a fim de facilitarem a sua inscrição nas mesmas.

Os ramos de ligação interiores só devem ter uma via, excepto no caso de ser necessária uma segunda via para assegurar a capacidade necessária ou a ultrapassagem dos veículos pesados.

A berma direita deverá ter, normalmente, a largura de 2.5 metros. Quanto à berma esquerda terá normalmente a largura de 1 metro.

Nos ramos de ligação com duas vias a largura das bermas será de 1 metro.

No caso de ramos de ligação com duas vias que assegurem a ligação de duas auto-estradas, a berma direita deverá ter 2.5 metros de largura.” [1]

Quadro 2.4 – Sobrelargura dos Ramos de Ligação

Raio (m)	Sobrelargura (m)
35	2.00
45	1.25
55	1.00
65	0.60
75	0.30
90	0.00

2.1.2.5. Curvas de Transição

A inclusão de curvas de transição, em ramos de ligação ou em plena via, permite que não existam mudanças bruscas de curvatura no seu traçado, advindo daí uma maior comodidade para o condutor. *“As condições a que devem satisfazer as curvas de transição são idênticas às relativas a pleno traçado, embora para raios iguais ou inferiores a 120 metros sejam mais restritivas, pois os condutores, nestes casos, aceitam valores superiores para a aceleração centrípeta e a sobreelevação, em virtude de, em geral, os ramos de ligação terem só uma via e serem de sentido único. No Quadro seguinte indicam-se as extensões mínimas das curvas de transição e o parâmetro aproximado correspondente, no caso de se adoptarem clotóides.” [1]*

Quadro 2.5 – Características das Curvas de Transição e Raios Mínimos das Curvas Circulares

Velocidade Base (km/h)	Raio Mínimo (m)	Extensão Mínima da Transição (m)	Parâmetro da Clotóide (m)
25	15	15	15.0
30	25	21	22.5
35	35	24	28.0
40	45	28	36.0
45	60	32	45.0
50	75	36	52.0
55	90	40	60.0
60	120	45	75.0

2.1.2.6. Entradas e Saídas da Estrada Principal

Esta é uma situação de grande relevância na concepção dos nós de ligação pois, geralmente, a velocidade de circulação na estrada principal é superior à velocidade praticada na estrada secundária. Assim, veículos que entram na estrada principal necessitam aumentar a velocidade, contrariamente aos que saem que reduzem a sua velocidade. Estas variações de velocidade devem ser passíveis de serem efectuadas com total segurança relativamente aos veículos que se mantêm na estrada principal e que conservam a sua velocidade.

“Todas as entradas e saídas devem ser efectuadas por meio de vias de aceleração e desaceleração.”

[1] O seu dimensionamento será referido posteriormente na secção deste trabalho na qual se aborda a Norma de Intersecções.

“As entradas e saídas devem ser localizadas, sempre que possível, em alinhamentos rectos, a fim de se assegurar uma boa distância de visibilidade e óptimas condições operacionais ao tráfego. Quando, porém, é necessário localizá-las em curva, os biséis das vias de desaceleração e aceleração devem ser também em curva. Neste caso, o raio da curva do bisel deve ser idêntico ao da estrada principal.

No caso de saídas em curva em zonas de corte, será necessário proceder ao afastamento dos taludes de modo a assegurar a distância de visibilidade conveniente.

...

Os condutores estão habituados às saídas antes da estrutura, pelo que têm preferência por esta solução, o que implica, muitas vezes, como seja nos nós em trevo, a construção de via colectoras-distribuidoras.

No caso do perfil longitudinal da estrada principal ser em concordância convexa a saída deve localizar-se após o vértice. Quanto às entradas devem de preferência ser localizadas em declive a fim de se facilitar a aceleração dos veículos pesados. O traçado ideal para as saídas e entradas é aquele em que, numa extensão de pelo menos 60 metros, o perfil longitudinal do ramo de ligação seja idêntico ao da via exterior da estrada principal.

...

Quando o ramo de ligação tem curvatura contrária à da curva principal deve intercalar-se entre elas um alinhamento recto ou duas curvas de transição de sentido contrário a fim de facilitar a transição conveniente da sobrelevação.” [1]

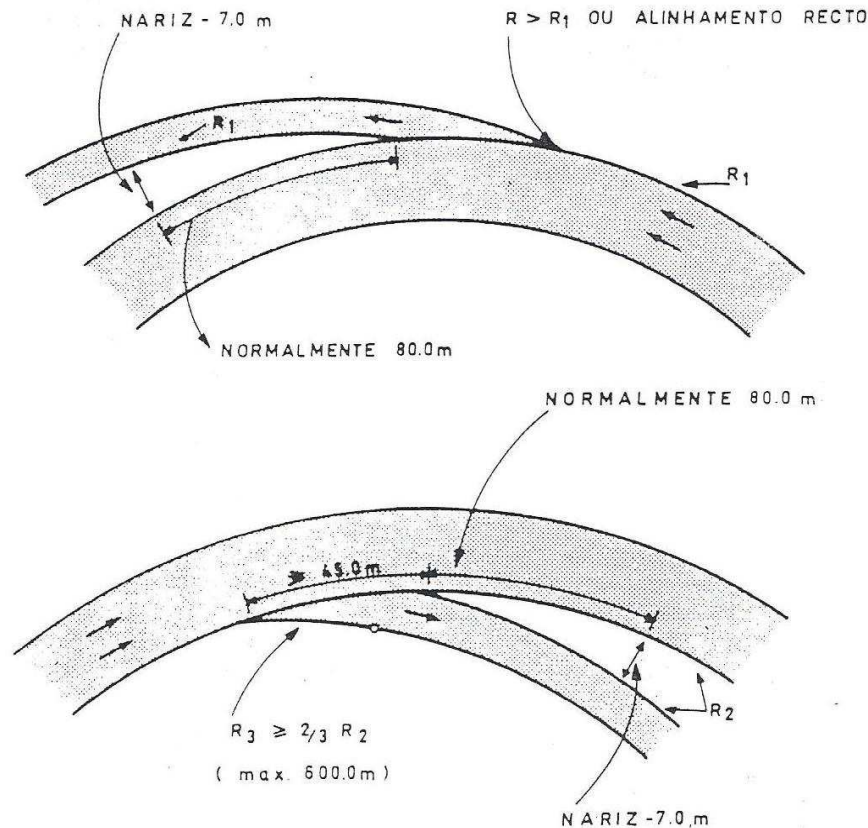


Fig.2.6 – Saídas em curva

2.1.2.7. Número de Vias

Como já foi referido, “os ramos de ligação com uma via, em alinhamento recto e curvas de rios superiores a 90 metros, devem ter 4 metros de faixa de rodagem.

As bermas serão pavimentadas, devendo a do lado direito ter 2.5 metros de largura e a do lado esquerdo 1 metro. (...)

Quando se justificar a adopção de lancis do lado esquerdo, estes serão colocados no limite exterior da berma esquerda. Quando na intersecção dum ramo de ligação com a estrada secundária são permitidas viragens à esquerda e à direita, o ramo deve ser alargado na zona da intersecção, a fim de permitir que essas viragens se efectuem simultaneamente.

Os ramos de ligação com uma extensão superior a 300 metros devem ter uma zona intermédia com duas vias a fim de permitir a ultrapassagem.” [1]

Os ramos de ligação interiores “têm unicamente uma via, a não ser que uma segunda via seja imposta a fim de se assegurar a capacidade necessária.

No caso do volume horário de projecto ser superior a 1500 veículos deve-se projectar uma ligação directa. Quando se adopta um traçado com duas vias, unicamente a via da direita terá sobrelargura, pois é a que será utilizada pelos veículos pesados.” [1]

Relativamente à diminuição do número de vias da estrada principal, a Norma de Nós de Ligação refere o seguinte: “O número de vias da estrada principal, normalmente, não deve ser reduzido num nó de ligação. Exceptua-se o caso em que mais de 50% do tráfego sair por um ramo de ligação. No entanto, a estrutura deve ser dimensionada de modo a permitir a construção, no futuro, se necessário, da via que se suprime. É preferível efectuar essa diminuição após o nó de ligação e de preferência a cerca de 2 quilómetros de uma saída ou entrada.

Deve-se efectuar a supressão da via num alinhamento recto, cujo perfil não seja em concordância convexa, a fim dos condutores que têm de convergir para a esquerda terem a visibilidade necessária da sinalização horizontal e vertical. A transição da via a eliminar deve ter a extensão de 250 metros, a fim daquela poder ser efectuada com segurança.” [1]

2.1.2.8. Controle de Acessos

O controle de acessos aos ramos dos nós de ligação permitem ao utilizador uma mais fácil percepção dos limites dos ramos e ao mesmo tempo limitam o acesso pedonal. É impreterível ter em conta que este controle tem que ser feito sem reduzir as distâncias de visibilidade do condutor. Nesse sentido, a Norma de Nós de Ligação define que “deve haver controle de acessos ao longo dos ramos de ligação, assim como na zona da sua intersecção com a estrada secundária.

Nestas intersecções o controle de acessos deve prolongar-se pelo menos até ao extremo do bisel das curvas de viragem à direita ou 15 metros além da tangente dessas curvas, quando não se adoptar bisel.” [1]

Na Fig.2.6 podem-se ver alguns exemplos do controle de acessos referido.

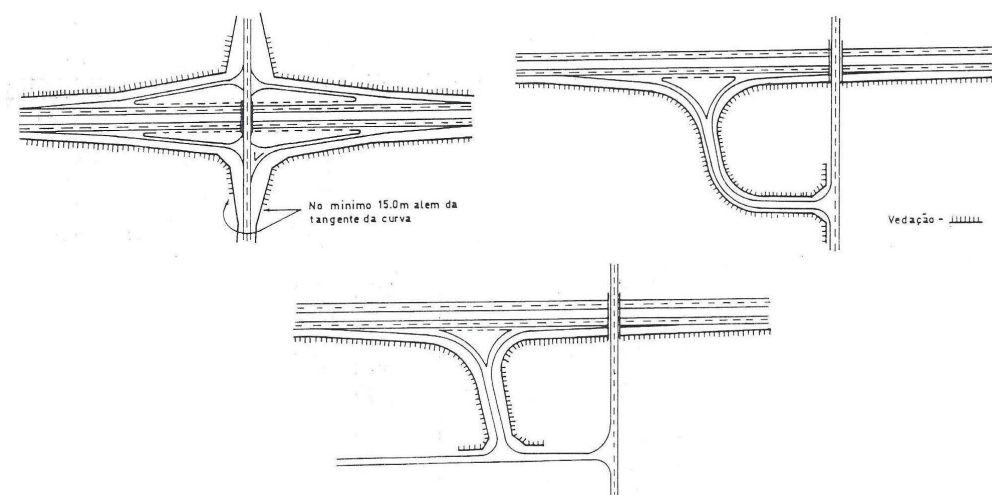


Fig.2.7 – Controle de acessos

2.2. NORMA DE INTERSECÇÕES

À semelhança da Norma de Nós de Ligação, este documento, também produzido pela antiga JAE, resume as regras actualmente em vigor que devem obrigatoriamente ser seguidas na definição da geometria de intersecções. No caso do nó que vai ser estudado mais adiante este é um factor importante a ter em conta de forma a permitir que os utilizadores do nó efectuem o seu percurso de forma totalmente esclarecida e em segurança.

O documento começa por definir o seguinte:

“A maior parte das estradas cruzam-se de nível, sendo a área da intersecção parte integrante de cada uma.

As intersecções são as zonas mais perigosas das estradas, sendo nelas que ocorre o maior número de acidentes rodoviários, por erro de manobra dos condutores ou porque as características geométricas ou a sinalização são deficientes.

Há uma correlação nítida entre os acidentes verificados nas intersecções e os volumes de tráfego na estrada secundária. (...)

Constata-se ainda que as intersecções em “Cruz” têm uma frequência de acidentes dupla das intersecções em “T”.

...

A fim de se minimizarem os conflitos possíveis e assegurar convenientemente os movimentos de atravessamento e as viragens, as características geométricas de uma intersecção devem ser definidas cuidadosamente.

Embora as intersecções tenham muitos elementos comuns, cada uma deve ser considerada como um problema específico.” [2]

De acordo com a Norma são quatro os principais factores que influenciam a geometria de uma intersecção: tráfego, físico, económico e humano. Neste trabalho foi particularmente tido em conta o factor físico e o humano, já que relativamente aos outros factores não foram facultados dados suficientes. De salientar que o factor económico é mais usado como comparativo de diferentes soluções e não tanto como definidor de características específicas.

“Os elementos físicos que condicionam o traçado de uma intersecção e a aplicação da canalização são a topografia, as características físicas das estradas que se cruzam e os elementos da canalização.

As intersecções nunca devem ser localizadas próximo de curvas horizontais ou verticais, pois as curvas horizontais diminuem a eficácia das travagens e as curvas verticais e a inclinação dos trainéis, além de diminuírem a visibilidade, influenciam ainda as possibilidades de aceleração. Consequentemente, as intersecções devem, sempre que possível localizar-se em alinhamentos rectos, cujos trainéis tenham inclinações iguais ou inferiores a 3%. Verifica-se assim que é indispensável que o estudo prévio do traçado defina a localização das intersecções, pois estas podem, muitas vezes, condicionar o traçado da estrada.

...

Quanto aos factores humanos devem ser considerados os seguintes: hábitos e possibilidade de decisão dos condutores, efeito de surpresa, tempos de decisão e de reacção.” [2]

A complexidade da intersecção é também um factor que deve ser tido em conta, na medida em que *“a simplicidade do seu traçado é muito importante, como o tem demonstrado a experiência de intersecções com excesso de canalização. Com efeito, devem unicamente prever-se as ilhas estritamente necessárias para a canalização do tráfego.*

Deve-se ter sempre em consideração as características das intersecções existentes no mesmo itinerário, a fim de se assegurar a homogeneidade do traçado da estrada.

No caso de uma estrada nova os elementos que permitem definir as características das intersecções são definidos “à priori”, sendo o seu traçado parte integrante do projecto.” [2]

Sendo um local de constante paragem de veículos para mudança de direcção e onde também se verificam alguns abrandamentos, é necessário que os condutores consigam compreender de forma rápida e segura o funcionamento da intersecção.

“A maior parte dos acidentes que se verificam numa intersecção resulta do desconhecimento por parte dos condutores de alguns dos elementos da mesma, da falta de visibilidade da sinalização existente ou do seu desrespeito.

O traçado de uma intersecção deve advertir claramente os condutores dos possíveis pontos de conflito e facilitar a condução, separando no tempo os pontos de conflito ou eliminando-os. Um bom traçado deve revelar as velocidades possíveis nos seus ramos e assegurar os tempos de percepção-reacção necessários aos condutores. A canalização está directamente relacionada com as exigências dos veículos que têm de efectuar mudanças de direcção e velocidade, assim como com as reacções dos outros condutores relativamente a essas mudanças.” [2]

É também importante ter em conta as características que os condutores habitualmente encontram nas demais intersecções. Se as características de uma determinada intersecção forem de encontro ao que os condutores estão habituados, é-lhes indiscutivelmente mais fácil perceberem o seu funcionamento.

“Os condutores prevêm encontrar numa intersecção características geométricas e operacionais habituais pelo que é fundamental que o seu traçado seja homogéneo ao longo do traçado de um itinerário, assim como em todo o País. Um condutor espera que o traçado de uma intersecção tenha sempre as seguintes características:

- *Assegure a continuidade das vias existentes antes da intersecção*
- *Distâncias de visibilidade que assegurem a tomada de decisões*
- *Assegure a consistência entre a percepção da intersecção e o controlo do tráfego*
- *Assegure uniformidade no traçado dos seus elementos, como sejam: vias de viragem, separadores, ilhas, etc.*

As regras de prioridade e a concepção das intersecções estão intimamente ligadas, pelo que é fácil os condutores terem um comportamento correcto desde que a intersecção seja bem projectada, pois neste caso actuará sem necessidade de raciocinar.

Torna-se portanto necessário assegurar aos condutores a possibilidade de encontrarem em qualquer parte do país intersecções projectadas segundo os mesmos critérios. Assegurar essa uniformidade de critérios é a finalidade essencial destas normas.” [2]

É preciso ter em atenção que, se as intersecções estiverem muito próximas, esse facto pode influenciar o funcionamento umas das outras, já que se uma intersecção estiver congestionada, a sua fila de espera pode chegar à intersecção seguinte e impedir o seu correcto funcionamento.

“O espaçamento normal entre intersecções, em zona rural, deverá ser de três quilómetros, devendo ser apresentado estudo económico justificativo, sempre que não for respeitado este espaçamento. Nas áreas metropolitanas o espaçamento mínimo poderá ser de um quilómetro.

Quanto aos nós de ligação o espaçamento mínimo deverá ser de quatro quilómetros, devendo ser apresentado estudo económico justificativo quando isso não se verificar. Nas áreas metropolitanas o espaçamento mínimo dependerá dos condicionamentos locais, não devendo porém ser inferior a um quilómetro, a fim de se poder assegurar o entrecruzamento dos veículos (estradas com 2x2 vias).

Quando o espaçamento entre dois nós consecutivos for igual ou superior a 25 quilómetros deverá ser analisada a possível necessidade, no futuro, de um nó de ligação intermédio. Essa análise deverá ser

efectuada tendo em consideração o ordenamento do território e o efeito dinamizador da nova estrada no desenvolvimento sócio-económico da região em que se insere.” [2]

2.2.1. DADOS NECESSÁRIOS À ELABORAÇÃO DO PROJECTO

São quatro os tipos de dados prévios que são necessários à elaboração do projecto geométrico de uma intersecção: classificação funcional das estradas que se cruzam, dados de tráfego, topografia da zona e veículos-tipo.

Relativamente à classificação funcional das estradas, a Norma refere que *“as estradas são classificadas em nacionais e municipais.*

Quanto às estradas nacionais (...) integram-se em duas redes:

- *Rede Nacional Fundamental*
- *Rede Nacional Complementar*

A Rede Nacional fundamental é constituída pelo Itinerários Principais (IP) que são as vias de comunicação de maior interesse nacional e servem de apoio a toda a rede de estradas nacionais, os quais asseguram a ligação entre os centros urbanos com influência supra-distrital e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras. Nos Itinerários Principais não é permitida a circulação de peões, velocípedes e veículos de tracção animal, o que deverá ser devidamente sinalizado.

A Rede Nacional Complementar é constituída pelas estradas que asseguram a ligação entre a Rede Nacional Fundamental e os centros urbanos de influência concelhia ou supra-concelhia, mas infra-distrital. Integram-se na Rede Nacional Complementar os Itinerários Complementares (IC) e Outras Estradas (OE)” [2]

A designação de “Outras Estradas” foi definida pelo Plano Rodoviário Nacional (PRN) de 1985, tendo sido posteriormente alterada para “Estradas Nacionais” pelo PRN 2000.

“Considerando as características funcionais de cada Rede, assim como as características geométricas e físicas das estradas que as constituem só serão de considerar intersecções, em princípio, nos cruzamentos das estradas da Rede Complementar, entre si e com estradas municipais. Exceptua-se porém o cruzamento de Itinerários Complementares que será sempre do tipo nó de ligação. Identicamente, o cruzamento de um Itinerário Complementar com outra estrada nacional ou municipal poderá também ser do tipo nó de ligação, quando devidamente justificado em função da segurança e do custo de operação dos veículos.” [2]

Em termos de dados de tráfego, são necessários diagramas de tráfego e de volumes horários para que seja possível determinar a melhor solução para a canalização do mesmo.

“Os diagramas de tráfego médio diário e dos volumes horários de projecto são essenciais para a determinação da importância relativa dos conflitos entre os vários movimentos.

...

Quando os volumes de peões são elevados, podendo afectar as características da intersecção, são necessárias informações completas acerca dos seus movimentos actuais e futuros.

No caso de se prever a instalação de algum tipo de controle do tráfego, este deve ser definido antes de se elaborar o projecto da intersecção, pois normalmente condiciona a canalização do tráfego.” [2]

É também importante conhecer a topografia da zona para que os volumes de escavação e/ou aterro possam ser controlados. *“A planta do local deve incluir todos os condicionamentos físicos existentes*

que possam afectar o projecto. São também essenciais os perfis longitudinais as estradas que convergem na intersecção.” [2]

As características geométricas das intersecções dependem ainda das características dos veículos que se prevê que venham a utilizá-las. *“Os veículos são normalmente classificados em três tipos: veículos ligeiros (L), camiões (C) e veículos articulados (VA). Como estas normas tratam de intersecções de estradas nacionais, o veículo tipo a considerar será sempre o veículo articulado.” [2]*

2.2.2. TIPO DE INTERSECÇÕES

A Norma de Intersecções refere três tipos de intersecções: sem canalização de tráfego, com canalização de tráfego e giratórias. Neste relatório apenas serão abordadas as intersecções com canalização de tráfego, visto ser esse o tipo de intersecção que será usado na ligação do nó com a estrada secundária.

2.2.2.1. Prioridade dos Movimentos Principais

A canalização do tráfego neste tipo de intersecções permite que os movimentos dos veículos se efectuem com segurança e garante a prioridade dos movimentos principais. *“Consequentemente, haverá que controlar os movimentos secundários, seja com sinalização (STOP); encurvando o traçado, de modo a obrigar a uma redução de velocidade; afinilando o perfil transversal; ou mesmo eliminando algumas das viragens. Estes meios de controle devem ser compatíveis com as trajectórias naturais dos veículos e devem ser introduzidos de forma gradual de modo a eliminar-se o efeito de surpresa e portanto garantir a segurança da intersecção.” [2]*

A referida canalização de tráfego é realizada através de ilhas direccionais, cujo traçado deve ser definido cuidadosamente, *“a fim de não ocasionarem confusão, devido à sua complexidade ou restringirem indevidamente o movimento. Estes cuidados são especialmente importantes nas intersecções localizadas em zonas rurais. Intersecções complicadas, possibilitando mais de uma escolha de movimentos, são indesejáveis. A simplicidade é o objectivo da canalização do tráfego. As ilhas direccionais, sempre que sejam só utilizadas para a canalização do tráfego, devem ser facilmente galgáveis numa emergência, não devendo ocupar as bermas da estrada principal.” [2]*

2.2.2.2. Áreas de Conflito

O grande objectivo da canalização do tráfego é a redução das áreas de conflito, obrigando cada veículo a percorrer um trajecto perfeitamente definido de acordo com o movimento que pretende efectuar. *“A existência de grandes áreas pavimentadas numa intersecção é normalmente inconveniente, pois aumenta a possibilidade de colisão entre os veículos, devido à confusão que originam e à dificuldade dos condutores preverem o movimento dos outros veículos nessas áreas.” [2]*

A Norma refere ainda que *“a redução do ângulo das intersecções é fundamental para a diminuição das áreas de conflito.” [2]*

2.2.2.3. Ângulo da Intersecção

O ângulo formado pelos alinhamentos das duas estradas que se cruzam influencia muito o traçado dos elementos definidores da canalização do tráfego e, consequentemente, a segurança da intersecção.

“Uma intersecção segundo um ângulo recto assegura a menor distância a percorrer pelas correntes de tráfego que se cruzam. Além disso permite aos condutores boa visibilidade, o que lhes permite avaliar correctamente a distância e velocidade dos veículos com que se cruzam. Ângulos oblíquos até 120° não aumentam substancialmente as distâncias de atravessamento, nem diminuem apreciavelmente a visibilidade, pelo que, em geral, são considerados satisfatórios. Porém, no caso de ângulos superiores a 120°, o traçado do ramo secundário da intersecção deve, em princípio, ser modificado, desde que isso seja compatível com os condicionamentos económicos e de tráfego.” [2]

2.2.2.4. Pontos de Conflito

Os elementos da canalização do tráfego permitem separar os pontos de conflito para que cada condutor apenas se debata com uma possibilidade de conflito e, conseqüentemente, necessitará de tomar uma única decisão a fim de continuar o seu percurso.

2.2.2.5. Viragens

As viragens à esquerda são o movimento mais problemático numa intersecção, na medida em que é o que entra em conflito com o maior número de outros movimentos, nomeadamente com o tráfego directo no sentido oposto, com o tráfego que cruza e com o tráfego directo no mesmo sentido. Para reduzir a sua influência nos restantes movimentos, torna-se importante a existência de uma via especial para este movimento.

“Uma via especial para as viragens permite a segregação do tráfego e desvia as viragens da área de intersecção das correntes de tráfego.

...

Pode-se dizer, de uma maneira geral, (...) que as vias de viragem à esquerda eliminam 33% dos acidentes previsíveis numa intersecção.

A redução abrupta das características geométricas do traçado e da distância de visibilidade devem ser evitadas, principalmente quando as vias de viragem são utilizadas pelo tráfego da estrada prioritária, em que a velocidade é normalmente elevada.” [2]

2.2.2.6. Afunilamento

De forma a facilitar a entrada dos veículos, é desejável que as vias de viragem sejam mais largas no seu início e posteriormente estreitem para a largura normal da via.

“É normalmente desejável que os movimentos secundários se efectuem numa faixa de rodagem com uma única via, para entrarem ou saírem de uma intersecção. (...)

Desde que seja correctamente dimensionado, o afunilamento desencoraja ultrapassagens indesejáveis, sendo facilmente compreendido pelos condutores.” [2]

2.2.2.7. Áreas de Refúgio

Uma correcta definição do traçado das ilhas direccionais e dos separadores numa intersecção permite que os condutores possam efectuar o seu movimento sem ter que aguardar que a intersecção esteja

completamente desimpedida, além de permitirem uma compreensão mais rápida e segura do funcionamento da intersecção.

2.2.2.8. Vias de Aceleração e Desaceleração

Este tipo de vias permite que o tráfego convergente atinja a velocidade do tráfego directo onde pretende inserir-se. Desta forma melhora-se a segurança e a funcionamento de uma intersecção.

“O tráfego converge melhor, e mais eficientemente, segundo ângulos pequenos (10 a 15°) e quando as diferenças de velocidade são mínimas.

...

As vias de desaceleração relativas às viragens à esquerda deverão ser normalmente protegidas por um separador de sentidos.

...

As vias de aceleração só deverão porém ser consideradas desde que a estrada principal tenha 2x2 vias.” [2]

2.2.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Como já foi referido, são as características geométricas de uma intersecção que, se definidas correctamente, permitem o seu bom funcionamento.

“Os princípios básicos a que deve obedecer o traçado de uma intersecção são os mesmos que condicionam o traçado de uma estrada, isto é:

- *Optimizar a qualidade operacional das correntes de tráfego na intersecção*
- *Minimizar os acidentes e a sua severidade*

Os objectivos da canalização, os quais resultaram da análise das condições operacionais que se verificam nas intersecções e das necessidades funcionais do seu traçado, são os seguintes:

- *Desencorajar ou proibir os movimentos indesejáveis ou errados*
- *Definir claramente as trajetórias que os veículos devem seguir*
- *Encorajar as velocidades convenientes e, sempre que possível, as desejáveis*
- *Separar no espaço e no tempo os pontos de conflito tanto quanto possível*
- *Assegurar que o cruzamento das correntes de tráfego se efectua ortogonalmente e as convergências segundo ângulos muito agudos*
- *Facilitar o movimento das correntes de tráfego prioritárias*
- *Facilitar o controlo da circulação com a sinalização*
- *Assegurar a desaceleração e a paragem dos veículos fora das vias utilizadas pelo tráfego directo, que em geral circula a velocidade elevada*

Estes objectivos são assegurados no traçado de uma intersecção pelo recurso aos seguintes elementos:

- *Traçado correcto dos ramos de acesso à intersecção (planta e perfil longitudinal)*
- *Vias individualizadas para os diferentes movimentos*
- *Separadores*
- *Vias de aceleração e desaceleração*

- *Ilhas separadoras e direccionais*
- *Raios de curva que facilitam as viragens*
- *Sinalização horizontal e vertical*

Os primeiros seis elementos caracterizam fisicamente as intersecções.

As quatro condições a que deve satisfazer o projecto de uma intersecção a fim de garantir a maior segurança e uma circulação cómoda são as seguintes:

- *Concepção simples*
- *Visível a grande distância (função da velocidade base da estrada em que se integra)*
- *Compreensível à primeira vista*
- *Fácil de atravessar.” [2]*

Não é apenas a geometria da própria intersecção que deve ser tida em conta durante a realização do projecto. Também a geometria das estradas que nela se cruzam deve ser estudada e, se necessário, redefinida na zona da intersecção.

No caso da estrada principal, a Norma diz que “*o perfil longitudinal deve ser definido tendo em consideração a implantação das intersecções, de forma a assegurar a visibilidade necessária. As intersecções não devem ser localizadas em curvas convexas, em trainéis com inclinação superior a 3%, em curvas de raio inferior ao raio cómodo, nem no intradorso curvas. A altimetria da intersecção deve ser analisada cuidadosamente de modo a assegurar-se uma drenagem eficaz da água das chuvas.*

Devem merecer especial atenção os extremos dos separadores de sentidos, os quais devem ser visíveis a uma distância superior à distância de paragem.

No caso de uma estrada com duas vias a intersecção deve ter unicamente uma via em cada sentido para o tráfego directo. Quando, excepcionalmente, a estrada tiver 2x2 vias, estas manter-se-ão nas intersecções. O separador de sentidos, deverá ter a largura necessária para que o atravessamento da intersecção se efectue em duas fases.” [2]

Relativamente à estrada secundária, “*as características geométricas (...) devem obrigar a uma diminuição da velocidade dos veículos que entram na estrada principal e facilitar a manobra dos veículos que saem desta.*

Uma solução conveniente em muitos casos é um traçado com uma curva e contra-curva antes da intersecção, desde que correctamente dimensionado e de raios decrescentes. O perfil longitudinal deve ter uma inclinação diminuta ($< 2\%$), a fim de facilitar a paragem a o arranque dos veículos pesados. A estrada secundária deve ter um traçado tal, em planta e perfil, que assegure uma boa drenagem das águas pluviais, a fim de se evitarem zonas com menor aderência no caso de temporais.

As vias relativas aos veículos que desejem virar à esquerda ou atravessar a estrada principal devem ser sensivelmente perpendiculares a esta. Quanto aos veículos que efectuem viragens à direita devem poder parar segundo um ângulo de aproximadamente 45° , relativamente à estrada principal, a fim de se assegurar a visibilidade necessária.

Os separadores de sentidos e de vias são essenciais na estrada secundária, a fim de individualizarem as trajectórias dos veículos e os obrigarem a reduzir a velocidade.

...

No caso de a estrada principal ter 2x2 vias pode haver vias de aceleração para os veículos provenientes da estrada secundária que virem à direita, não sendo portanto necessário neste caso, nem conveniente, adoptar um traçado que obrigue esses veículos a reduzirem a velocidade.” [2]

Para que estas condições sejam satisfeitas, *“a solução tipo para a estrada secundária deverá ser constituída por uma ilha separadora de sentidos e por duas ilhas direccionais, sempre que a estrada secundária seja nacional ou municipal.*

Estas ilhas (separadora e direccionais) têm a grande vantagem de assinalar eficientemente aos condutores a aproximação da intersecção. No entanto, para que isso se verifique é necessário que sejam bem visíveis, só assim se garantindo a segurança da circulação.” [2]

2.2.3.1. Ilha Separadora

A ilha separadora serve para dividir os dois sentidos de circulação de forma clara, para evitar que os condutores entrem nas vias em sentido contrário. Ao mesmo tempo, o seu traçado não deve permitir que os condutores mantenham um movimento rectilíneo, obrigando-os a virar e, conseqüentemente, a reduzir a sua velocidade. *“Admite-se que a concepção correcta duma ilha separadora reduz a probabilidade de acidentes devido aos movimentos de atravessamento em cerca de 50%. O seu traçado deverá obedecer sempre ao seguinte:*

- *O ângulo do eixo da estrada secundária com o da estrada principal (ângulo da intersecção) deverá estar compreendido entre 80 e 120 graus.*
- *O comprimento da ilha separadora depende da categoria da intersecção. Quando a estrada secundária for nacional, o comprimento deverá ser de 20 metros.*
- *A largura da ilha separadora depende do comprimento. Conseqüentemente, quando a estrada secundária for nacional essa largura deverá ser de 5 metros. A largura será de 3 metros quando a estrada secundária for municipal.*
- *Os raios das viragens à esquerda dependem do ângulo da intersecção e do perfil transversal da estrada principal na zona da intersecção. No Quadro seguinte indicam-se os raios mais convenientes.*
- *A transição entre o perfil transversal tipo da estrada secundária e o perfil transversal da zona da ilha separadora, deverá ser efectuada numa extensão de pelo menos 60 metros, a partir do extremo montante da ilha.*
- *O extremo montante da ilha separadora, cuja largura deverá ser de 1.5 m, deverá ficar recuado 1 metro do alinhamento da via de saída da estrada secundária.*
- *O extremo jusante da ilha separadora deverá ficar afastado do limite da faixa de rodagem da estrada principal no mínimo 2 metros e no máximo 4 metros.*
- *A largura da via de saída da estrada secundária deverá ser, normalmente, de 4 metros e a da via de entrada de 5 metros. A largura das curvas de viragem à esquerda será a correspondente ao respectivo raio.” [2]*

Quadro 2.6 – Raios das Viragens à Esquerda de Saída da Estrada Secundária

Estrada Principal	Ângulo da Intersecção (grados)				
	80	90	100	110	120
2x2 vias e via de viragem à esquerda	16	18	20	22	24
2 vias e via de viragem à esquerda	14	16	18	20	22
2 vias	12	12	13	16	18

Quadro 2.7 – Raios das Viragens à Esquerda de Saída da Estrada Principal

Estrada Principal	Ângulo da Intersecção (grados)				
	80	90	100	110	120
2x2 vias e via de viragem à esquerda	24	22	20	18	16
2 vias e via de viragem à esquerda	22	20	18	16	14
2 vias	18	16	13	12	12

Na intersecção dos ramos do nó de ligação com a estrada secundária foi decidido que o ângulo dos alinhamentos seria de 100 grados (ângulo recto). De seguida explicar-se-ão os passos necessários para a definição do traçado da ilha separadora.

1. *“Traçam-se duas semi-rectas paralelas ao eixo da estrada secundária as quais definem a largura máxima da ilha separadora (5 m quando for nacional).”*
2. *Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária, cujo raio será o indicado no Quadro 2.6. (...)*
3. *Define-se o intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada principal, cujo raio é indicado no Quadro 2.7.*
4. *Define-se a cabeça jusante da ilha separadora, cujo raio (> 0.75 m) deverá ser tal que esta se situe no mínimo a 2 m e no máximo a 4 m do limite da faixa de rodagem da estrada principal.*
5. *Traçam-se duas semi-rectas tangentes ao intradorso das curvas de viragem à esquerda e que interceptem o eixo da estrada secundária a 40 m da faixa de rodagem da estrada principal.*
6. *Traça-se a cabeça montante da ilha separadora, a qual terá a largura de 1.5 m e ficará afastada 1 m da faixa de rodagem de saída da estrada secundária.*
7. *Traça-se uma semi-recta tangente à cabeça montante e ao intradorso da curva de viragem à esquerda de saída da estrada secundária.” [2]*

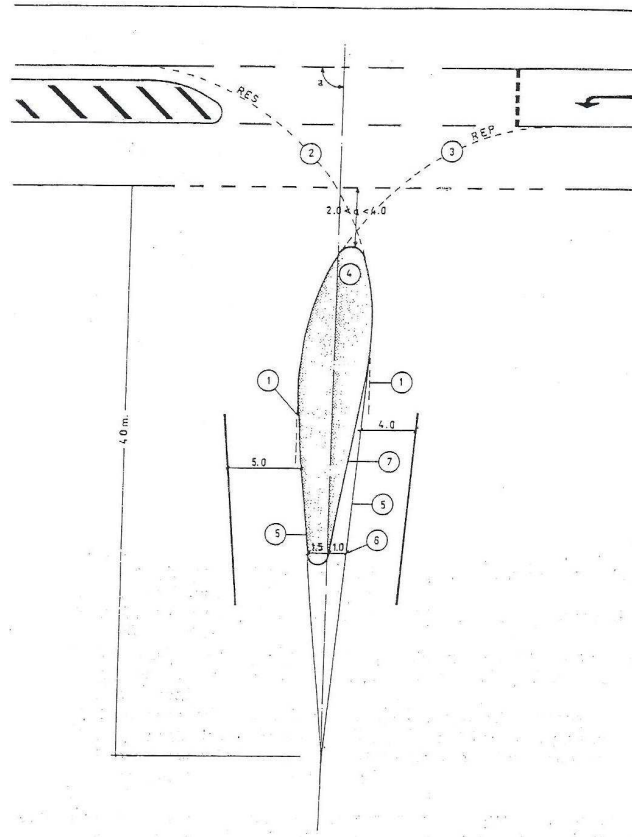


Fig.2.8 – Esquema do Traçado da Ilha Separadora

2.2.3.2. Ilhas Direccionais

O objectivo das ilhas direccionais é o de obrigar os condutores a seguir um movimento específico para que converjam com as outras correntes de tráfego segundo ângulos bastante reduzidos.

“As principais vantagens resultantes da utilização de ilhas direccionais são as seguintes:

- Melhoram apreciavelmente a percepção e compreensão das intersecções
- Canalizam eficazmente o tráfego
- Obrigam a uma diminuição da velocidade do tráfego em virtude de o canalizarem para vias individualizadas.

...

As ilhas direccionais devem ter dimensão suficiente para chamar a atenção dos condutores, sendo normal considerar como superfícies mínima 6 m² e como desejável 9 m², não devendo o lado menor ser inferior a 2.5 m.

O interior destas ilhas, assim como das ilhas separadoras, deve ser cheio de turfa ou terra vegetal, de modo a poder ser arrelvado. No caso das condições locais não serem favoráveis, deverá efectuar-se um tratamento superficial que contraste com o pavimento. As ilhas direccionais junto à estrada principal devem ser localizadas de preferência no alinhamento externo da berma, e nunca a menos de 2 m da faixa de rodagem.

Na delimitação de uma via em curva, a aresta da ilha direccional deverá ser curva, se a sua extensão for igual ou superior a 4 m, caso contrário será um alinhamento recto.

Os vértices das ilhas direccionais no início das vias de entrada deverão ser recuados de 0,75 m.

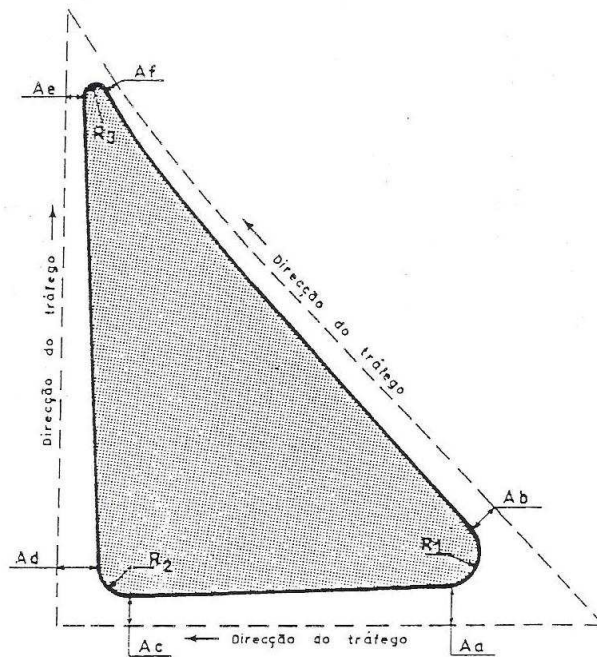
...

As faixas de rodagem deverão ser limitadas com sinalização horizontal.

A delimitação das ilhas direccionais deverá ser efectuada normalmente com lancis do tipo galgável, excepto quando seja necessário colocar nelas estruturas, que nesse caso deverão ser limitadas por guardas de segurança metálicas. Neste caso os vértices da ilha devem ser todos recuados. Os lancis, embora galgáveis, devem ser facilmente visíveis de noite, pelo que sempre que a estrada secundária esteja classificada como nacional deverão ser pintados com tinta reflectora.

...

No traçado de uma intersecção é preciso evitar que um condutor que se aproxime da mesma veja simultaneamente os vértices das duas ilhas, o que poderá causar confusão e portanto acidentes. Consequentemente, o vértice montante de duas ilhas nunca deverá ficar situado no mesmo perfil transversal. É de facto indispensável que de cada vez que um condutor tem de tomar uma decisão não haja mais do que duas alternativas.” [2]



Afastamento da faixa de rodagem

Aa	Ab	Ac	Ad	Ae	Af
0.5-2.0	0.3-1.0	0.5-1.0	0.5-2.0	0.5-1.0	0-0.3

Raios recomendados

R1	R2	R3
0.5-1.0	0.5-1.5	0.3-0.5

NOTA: (1) Os valores mais elevados deverão ser utilizados nos IP e IC
 (2) Quando exista berma, o afastamento será a partir do seu limite

Fig.2.9 – Esquema do Traçado das Ilhas Direccionais

2.2.3.3. Curvas de Concordância com a Estrada Principal

Estas curvas definem as vias de viragem à direita e, portanto e tal como os outros elementos da intersecção, devem obedecer a certas regras na definição do seu traçado. A Norma define valores mínimos para o raio das concordâncias e para a largura das vias.

Relativamente ao raio das curvas de concordância a Norma diz que, *“deve ser consistente com as restantes características geométricas da intersecção.*

A velocidade a que pode ser efectuada a viragem à direita, relativamente à velocidade médio do tráfego na estrada principal, é importante para a segurança da intersecção. Com efeito, quanto maior for o diferencial entre essas velocidades maior será a probabilidade de colisões pela rectaguarda.

Consequentemente, a segurança será melhorada apreciavelmente com o recurso a vias de aceleração.” [2]

Quadro 2.8 – Raio Mínimo das Curvas de Viragem à Direita

Ângulo da Intersecção (grados)	Camiões	Veículos-Articulado
80	15	20
90	15	20
100	20	25
110	20	25
120	25	30

Sobre a largura das vias, pode ler-se na Norma que *“deverá ser normalmente de 5.5 metros. No caso do raio da curva de concordância ser inferior a 25 metros a largura será determinada pela expressão:*

$$l = 3.5 + \frac{55}{R2} \quad (1)$$

em que R2 é o raio da central da curva de concordância. Neste caso é conveniente delimitar com sinalização horizontal a largura normal (5.5 metros), o que facilita a canalização dos veículos ligeiros e desencoraja as ultrapassagens imprudentes. As vias com as larguras referidas anteriormente permitem a circulação de veículos-articulados, embora não permitam a ultrapassagem de um veículo parado. Consequentemente, a berma das curvas de concordância deverá ter a largura mínima de 2.5 metros e um revestimento que permita a sua utilização em caso de emergência.

Quanto aos lancis da ilha separadora e das ilhas direccionais deverão ser do tipo galgável.” [2]

Finalmente, a Norma faz ainda referência ao valor da sobrelevação a adoptar nestas vias dizendo que *“não é possível adoptar a sobrelevação correspondente ao respectivo raio, devido ao seu diminuto desenvolvimento. Deve porém assegurar-se a sobrelevação mínima de 2% e, sempre que possível, 5%.”* [2]

3

PROJECTO GEOMÉTRICO

3.1. DADOS

Como já foi referido, o objectivo deste trabalho é a elaboração do projecto geométrico de um nó em meio trevo incompleto. Para tal, foi fornecida uma planta topográfica da zona, incluindo modelo digital do terreno previamente definido e também a implantação da estrada principal, assim como a sua rasante e respectivo perfil longitudinal do terreno.

3.2. PROJECTOS EM LAND DESKTOP

O programa Land Desktop permite a criação de pastas onde são guardadas todas as informações relativas a um projecto específico, mesmo que este seja composto por vários desenhos. O primeiro passo deste trabalho foi, por isso, criar um projecto específico no Land Desktop para armazenar toda a informação relacionada com este trabalho.

Começa-se por abrir a planta que foi fornecida com o programa Land Desktop, o que fará com que o programa comece logo por perguntar se se deseja associar essa planta a um projecto. Selecionando “Sim”, surge a hipótese de a associar a um projecto já existente ou de criar um novo projecto. Selecciona-se a opção “Create Project...” e aparece a janela de criação de um novo projecto onde se deve efectuar as seguintes opções:

- Seleccionar “Default (Meters)” em “Prototype”
- Escrever o nome que se pretende dar ao projecto em “Name”

Ao projecto criado no âmbito deste relatório foi dado o nome de “Projecto”.

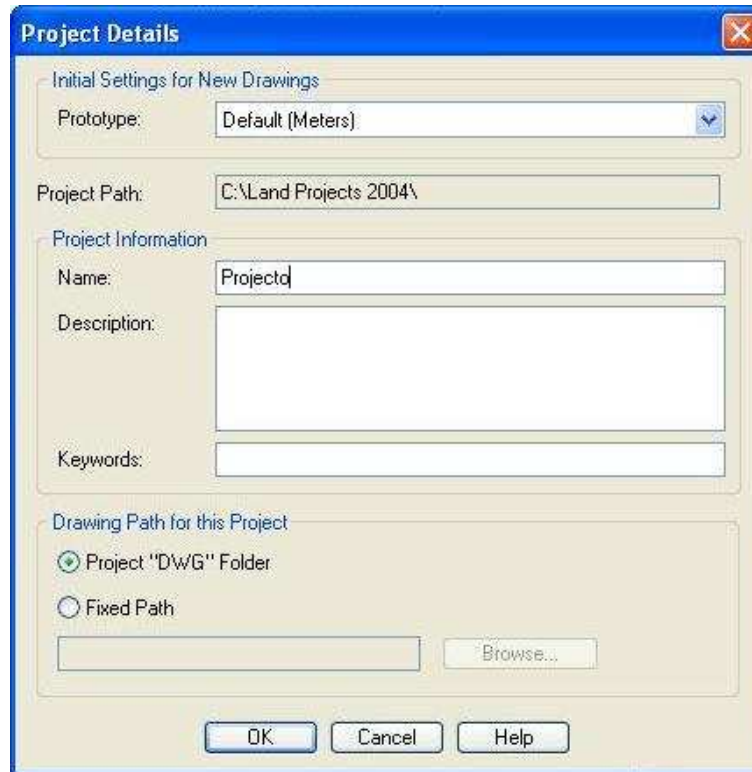


Fig.3.1 – Criação de Novo projecto

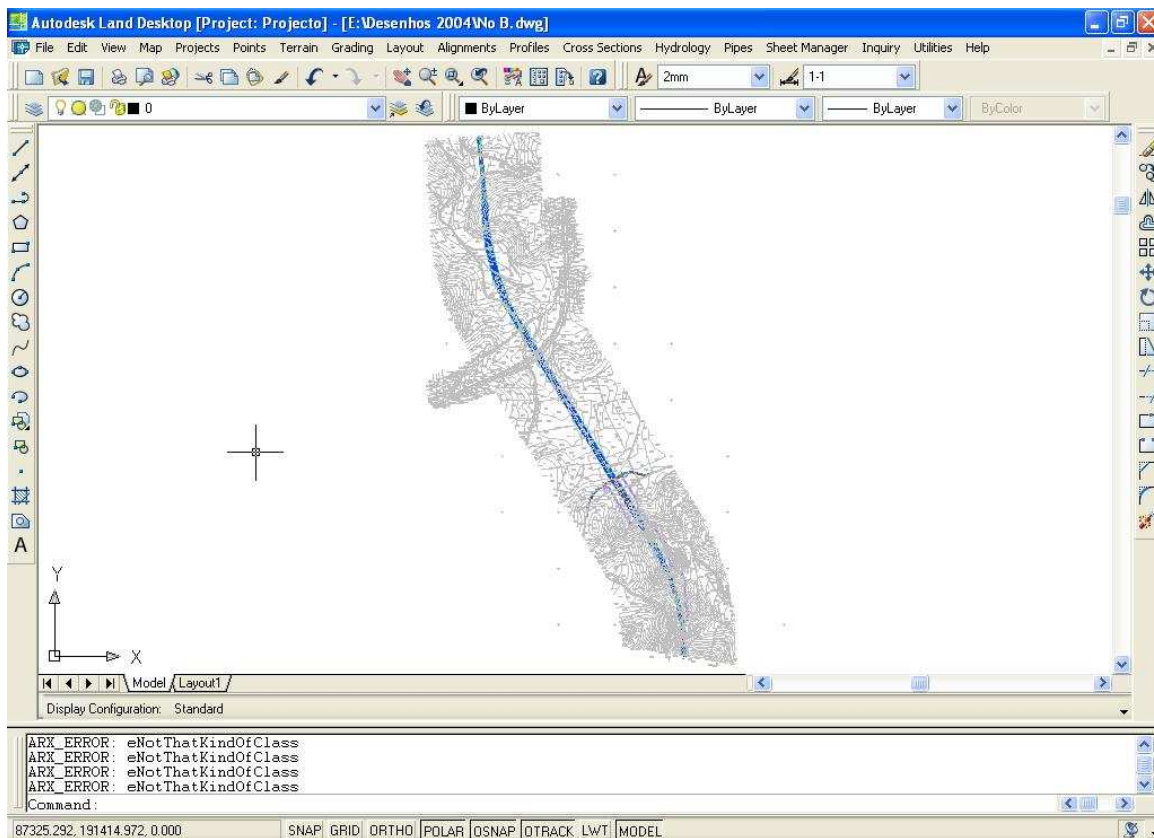


Fig.3.2 – Planta Inicial

De seguida, abre-se o ficheiro que contém o perfil longitudinal da estrada principal, associando-o ao projecto criado anteriormente.

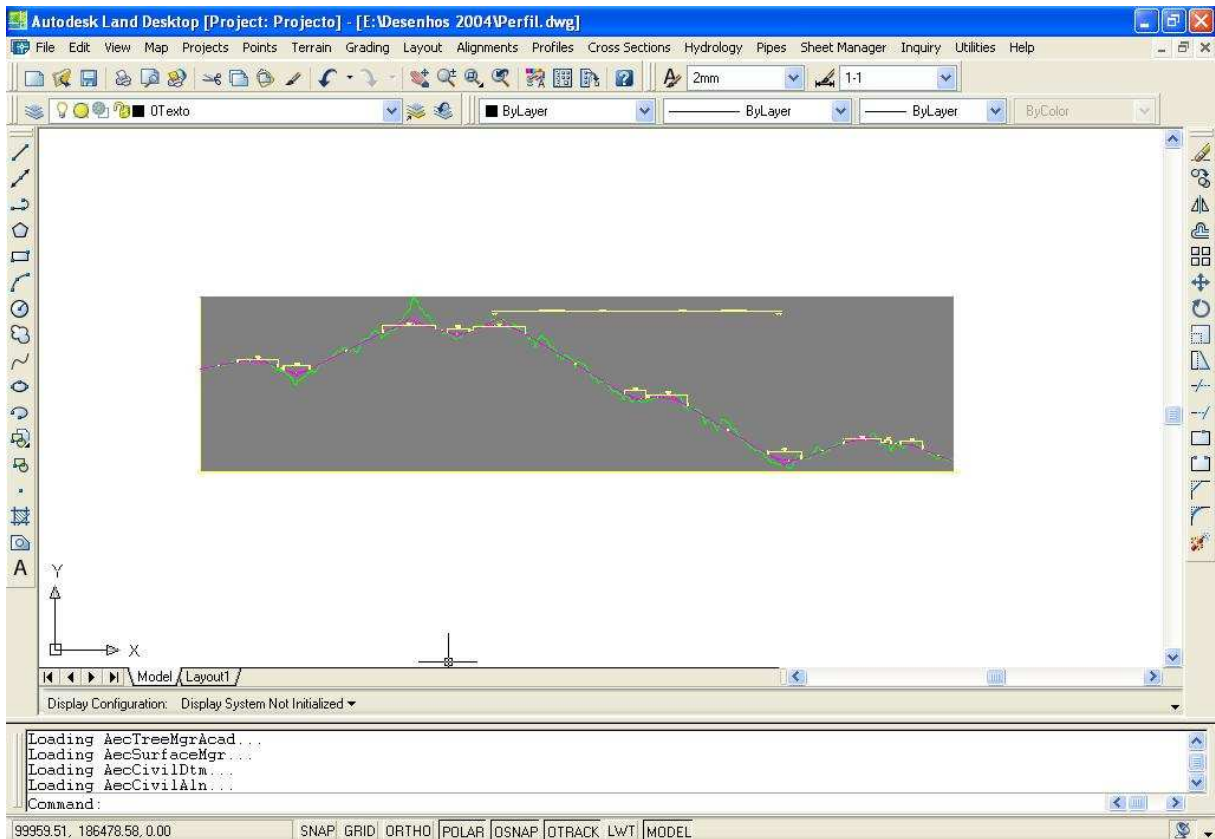


Fig.3.3 – Perfil Longitudinal da Estrada Principal

Após ambos os ficheiros estarem associados ao novo projecto, é necessário definir as características dos desenhos de forma a permitir um tratamento dos mesmos de forma mais simples. Para tal, selecciona-se nos menus superiores da janela a opção “Projects>Drawing Setup...”. Na janela aberta deve-se seleccionar o seguinte:

- “Meters” em “Linear Units”, “Grads” em “Angle Units” e “North Azimuths” em “Angle Display Style” no separador “Units”
- “1:1000” em “Horizontal” e 1:100 em “Vertical” na secção “Drawing Scale” do separador “Scale”
- “mili.stp” em “Style Set Name:” e “2MM” em “Styles in This Set:” no separador “Text Style”

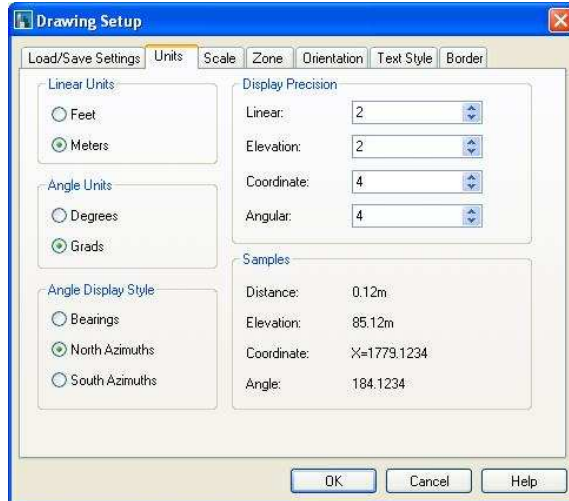


Fig.3.4 – “Drawing Setup – Units”

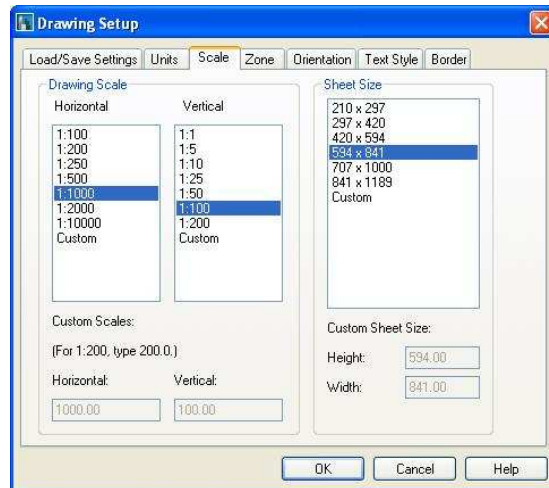


Fig.3.5 – “Drawing Setup – Scale”

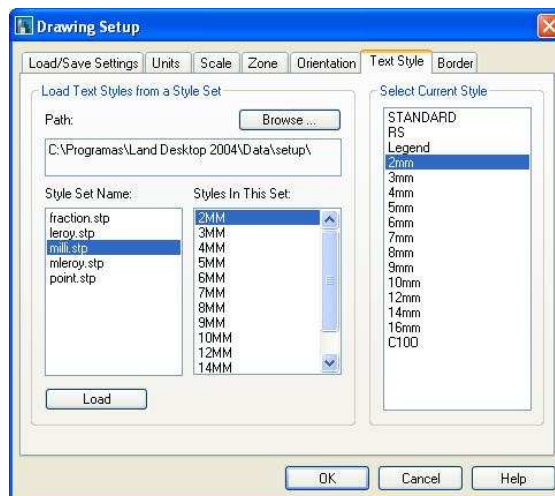


Fig.3.6 – “Drawing Setup – Text Style”

3.3. ELABORAÇÃO DO PROJECTO GEOMÉTRICO

Depois de configurados os desenhos é possível passar à elaboração do projecto geométrico. Como se pôde ver na Fig.3.3 apresentada anteriormente, o perfil longitudinal da estrada principal que foi fornecido apresenta aproximadamente quinze quilómetros de extensão, sendo que a planta fornecida apenas se refere a um corredor com dois quilómetros. Por isso, foi alterado o desenho do perfil longitudinal da estrada principal de forma a apresentar apenas a parte correspondente aos dois quilómetros apresentados em planta.

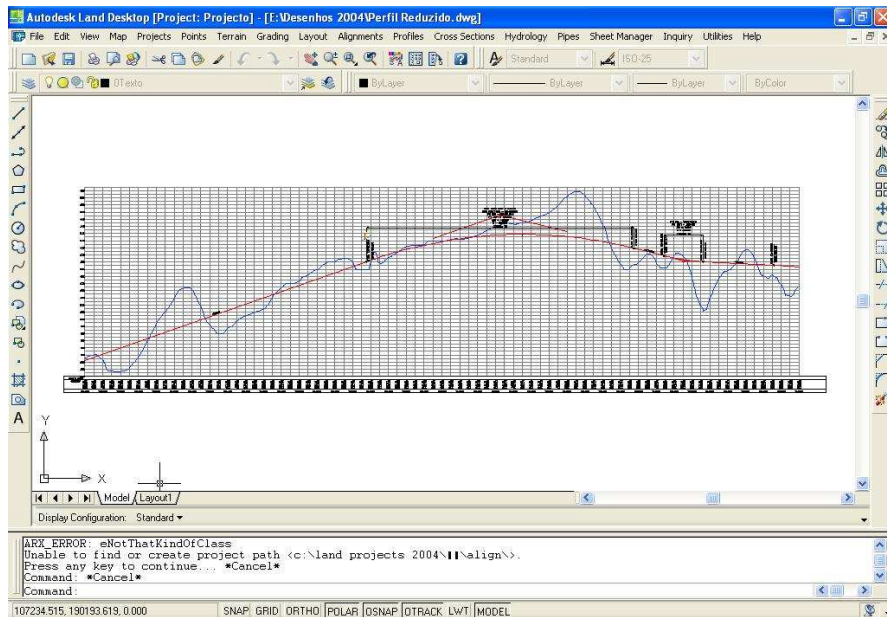


Fig.3.7 – Perfil Longitudinal Reduzido da Estrada Principal

De seguida, identificou-se o local onde será implantado o nó de ligação.

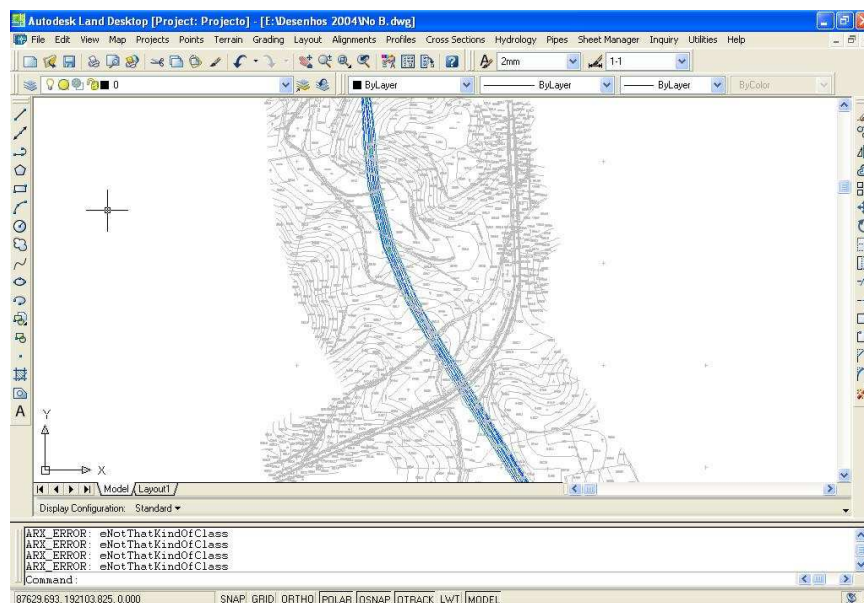


Fig.3.8 – Local de Implantação do nó de ligação

Ao analisar as cotas a que se cruzam as duas estradas reparou-se que estas eram muito próximas (diferença de cerca de 2,4 metros) pelo que se definiu que o perfil longitudinal da estrada secundária teria que ser alterado por forma a que esta cruze a estrada principal com um desnível de cerca de 7,5 metros.

3.3.1. DEFINIÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL

Visto que a representação da estrada secundária em planta está inserida na planta topográfica da zona envolvente, o primeiro passo para a definição da mesma passou por defini-la segundo um eixo em planta.

Como a estrada secundária terá que ser alterada em rasante, decidiu-se também que se poderia aproveitar essa situação para alterar a sua implantação em planta, colocando-lhe curvas de transição e alargando a sua plataforma para sete metros. A Fig.3.8 mostra que a estrada secundária é constituída por dois alinhamentos rectos concordados por uma curva circular. Mantendo os alinhamentos rectos praticamente na mesma posição era necessário aproximar uma curva circular que os concordasse, de forma a não alterar demasiado a posição em planta da estrada secundária. Recorrendo aos apontamentos práticos de Geometria do Traçado da cadeira de Vias de Comunicação I, foi possível descobrir o valor aproximado para a curva circular através da expressão que define o valor da bissectriz em função do ângulo de cruzamento de dois alinhamentos rectos.

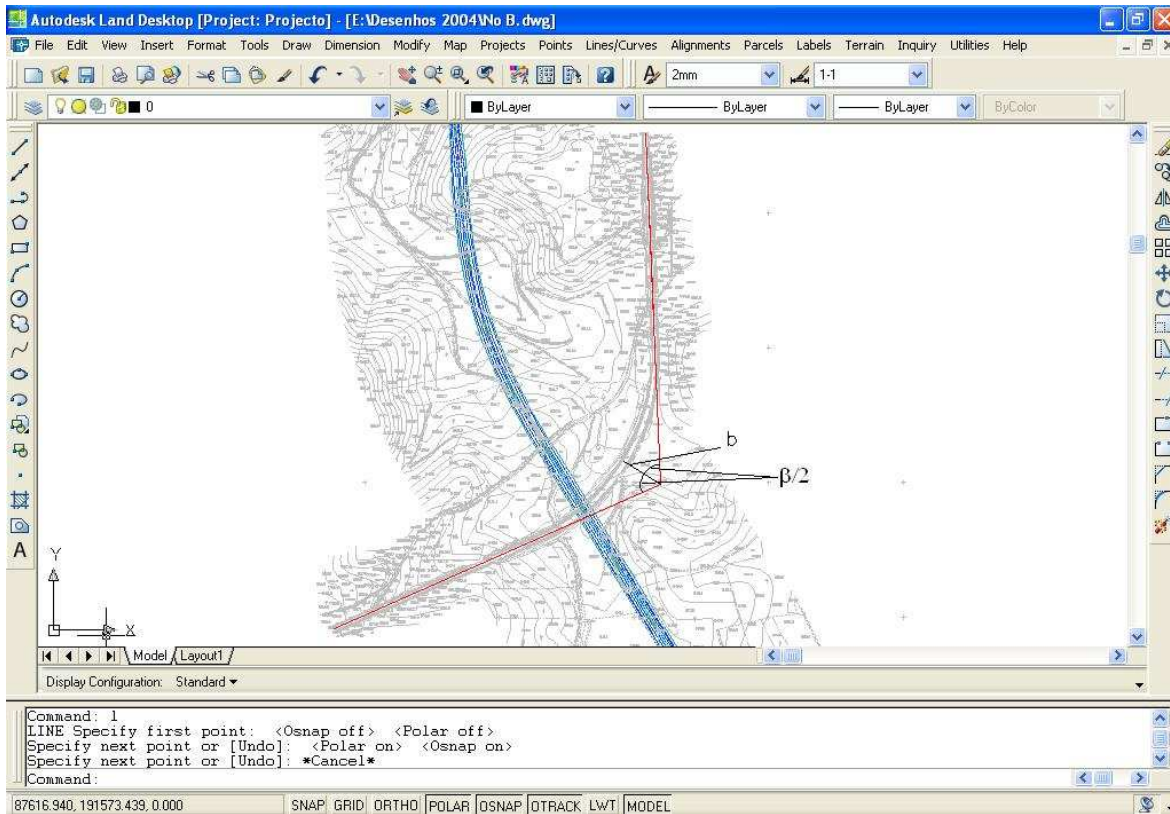


Fig.3.9 – Representação da Posição da Bissectriz

$$b = R * \left(\operatorname{cosec} \left(\frac{\beta}{2} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

Através do programa de desenho foi possível determinar um valor aproximado da bissetriz de 64 metros e um ângulo de cruzamento dos alinhamentos rectos de 123.66 graus. Através da equação (1) estimou-se um raio de 300 metros para a curva circular a implantar. Definiu-se também um parâmetro de 165 metros para as curvas de transição.

Depois de desenhado o eixo da estrada é necessário defini-lo como um alinhamento para, posteriormente, desenhar os bordos da estrada, bermas e também para permitir o cálculo do perfil longitudinal. O programa permite a definição automática dos alinhamentos a partir das linhas desenhadas através do comando “Alignments>Define from Objects”. De seguida o programa pede para seleccionar os objectos que fazem parte do alinhamento que se quer definir, após o que, carregando duas vezes na tecla Enter, aparece uma caixa onde podemos dar um nome ao alinhamento, uma descrição e definir o valor do ponto inicial definido em termos de quilometragem.



Fig.3.10 – Definição de um Alinhamento

Definido o eixo da via, pode-se agora fixar os limites exteriores das faixas de rodagem e das bermas exteriores. Visto que a estrada secundária é uma estrada municipal, não terá separador central e, como já foi referido, as faixas de rodagem terão uma largura de 3.5 metros. Para definir estas distâncias o programa permite a criação automática de “offsets” dos alinhamentos definidos através do comando “Alignments>Create Offsets...”. Antes da utilização deste comando é necessário definir o alinhamento que se quer trabalhar usando o comando “Alignments>Set Current Alignment”. Após a utilização do comando de criação de “offsets” aparece uma janela onde se define as distâncias de cada linha e o respectivo layer onde serão armazenadas.

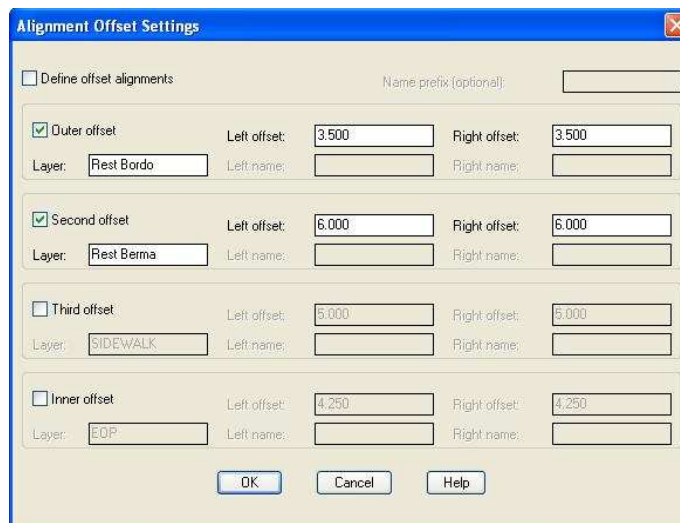


Fig.3.11 – Definição de “offsets”

Definida toda a planta da estrada secundária, pode-se então passar à definição do perfil longitudinal da mesma. Definiu-se que, no cruzamento das duas estradas, a estrada secundária iria ter uma cota de 544.25 metros, tendo-se optado por fazer passar nesse ponto um trainel horizontal ($i = 0\%$). Ao analisar a rasante existente da estrada secundária nota-se que esta pode ser aproximada a dois traineis com inclinações de 0% e 5% unidos por uma concordância vertical. Para que as alterações da mesma fossem mínimas, definiu-se uma nova rasante constituída por dois traineis horizontais e dois traineis com 5% de inclinação unidos por três concordâncias verticais de raios de 4.500 m, 2.500 m e 3.000 m, respectivamente.

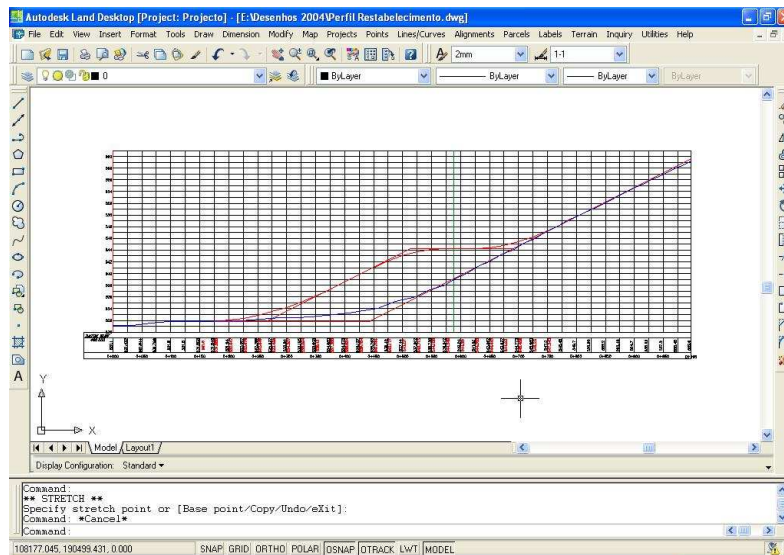


Fig.3.12 – Perfil Longitudinal da Estrada Secundária existente e sua alteração

3.3.2. DEFINIÇÃO DO RAMO INTERIOR EM PLANTA

Como já foi referido anteriormente, o nó de ligação em meio trevo incompleto ocupa apenas dois dos quatro quadrantes definidos pelas duas estradas que se cruzam. Assim, o primeiro passo passou pela escolha dos dois quadrantes a ser utilizados na concepção do nó em causa.

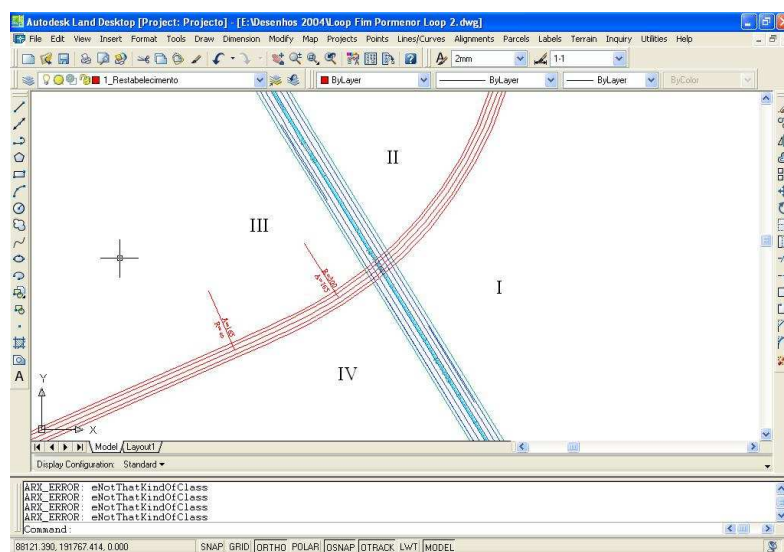


Fig.3.13 – Identificação dos Quadrantes

Decidiu-se que o nó de ligação seria construído nos quadrantes I e III. Como se pode ver na Fig. a estrada principal cruza em alinhamento recto com a estrada secundária, enquanto esta cruza em curva circular com a estrada principal. Isto significa que o ramo interior do quadrante I terá que concordar com a estrada secundária através de uma curva em S, ao passo que no quadrante III a concordância com a estrada secundária será efectuada por uma curva ovóide.

3.3.2.1. Quadrante I

A curva em S, necessária para concordar duas curvas circulares com curvaturas de sentido contrário, é constituída por duas curvas de transição que ligam à parte circular do ramo que, finalmente, liga ao alinhamento recto da estrada principal através de outra curva de transição. Para que todos os elementos do ramo estejam em continuidade é necessário determinar analiticamente a posição do centro da curva circular do ramo relativamente aos bordos da estradas a ligar.

Visto tratar-se de um ramo unidireccional, a concordância do ramo com as estradas será feita pelo bordo direito do sentido de circulação do ramo, ligando este aos bordos exteriores das duas estradas. Como se pode ver pela Fig.3.14, o perfil da estrada principal foi alargado na zona do nó, pelo que considera-se que as vias exteriores são vias de aceleração\desaceleração.

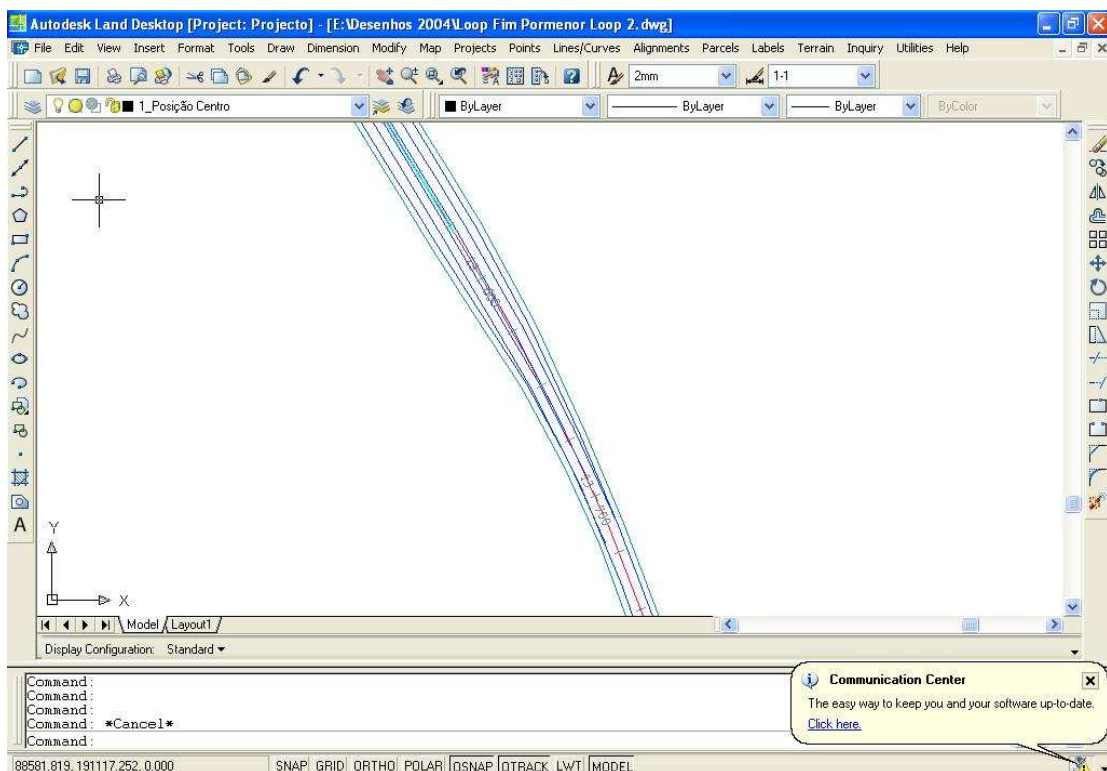


Fig.3.14 – Alargamento da Plena Via da Estrada Principal

Para que a concordância do nó com as duas estradas seja realizada correctamente é necessário definir algumas características dos elementos constituintes do ramo como o raio da curva circular do ramo e o(s) parâmetro(s) das curvas de transição. Considerando uma velocidade base de 40 km/h, o valor escolhido para o raio da curva circular do ramo foi de 45 metros. Foi também decidido que as curvas de transição do ramo teriam todas o mesmo parâmetro que, de acordo com o valor escolhido para o raio da curva circular do ramo, seria de 36 metros.

A posição do centro da curva circular do ramo será determinada pela intersecção de uma recta paralela ao bordo exterior da estrada principal com uma circunferência de raio D e centro coincidente com o centro da curva circular do bordo exterior da estrada secundária. O valor D é calculado através da seguinte expressão:

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3)$$

Os valores da expressão (2) podem ser obtidos da seguinte forma:

$$\Delta X = X_{mg} + X_{mp} \quad (4)$$

$$\Delta Y = (R_g + \Delta R_g) + (R_p + \Delta R_p) \quad (5)$$

$$X_{mi} = X_i - R_i * \text{sen}(\tilde{\alpha}) \quad (6)$$

$$\tilde{\alpha} = \frac{A_i^2}{2 * R_i^2} \quad (7)$$

$$\Delta R_i = Y_i - R_i * (1 - \cos(\tilde{\alpha})) \quad (8)$$

$$X_i = L_i - \frac{L_i^5}{40 * A_i^4} + \frac{L_i^9}{3456 * A_i^8} \quad (9)$$

$$Y_i = \frac{L_i^3}{6 * A_i^2} - \frac{L_i^7}{336 * A_i^6} + \frac{L_i^{11}}{4224 * A_i^{10}} \quad (10)$$

$$L_i = \frac{A_i^2}{R_i} \quad (11)$$

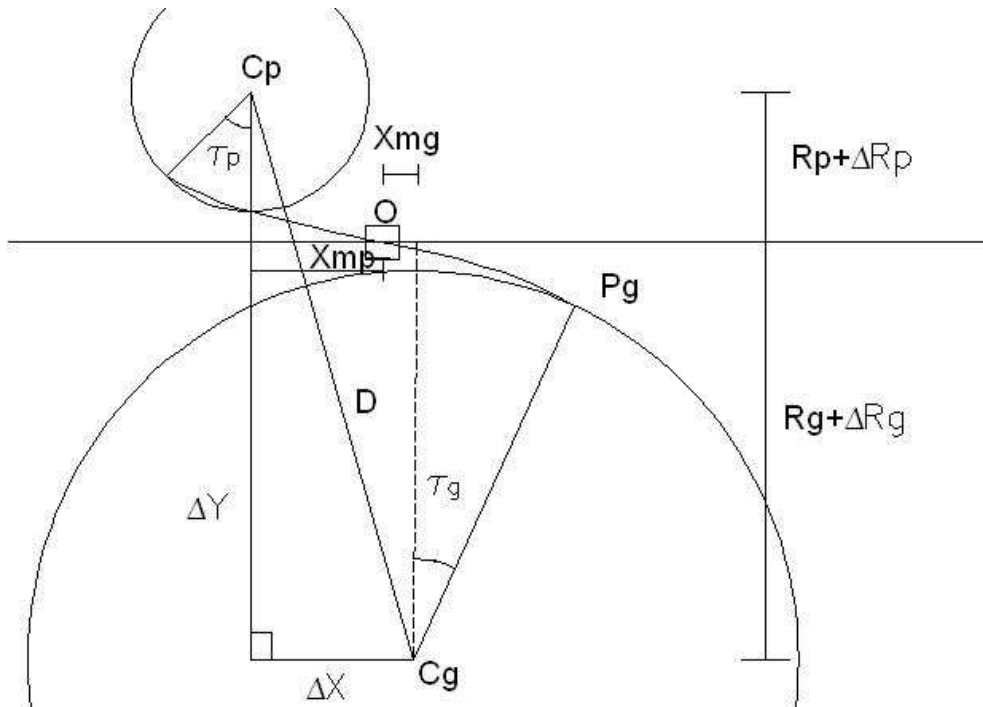


Fig.3.15 – Curva em S

Quadro 3.1 – Valores Calculados para a Curva em S

R (m)	A (m)	L (m)	X (m)	Y (m)	τ (rad)	Xm (m)	ΔR (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
45	36	28.8	28.506	3.05	0.32	14.351	0.765		
303.5	36	4.27	4.27	0.01	0.007	2.135	0.003	16.486	349.268

Com os valores do Quadro 3.1 foi determinado o valor D como sendo igual a 349.657 m.

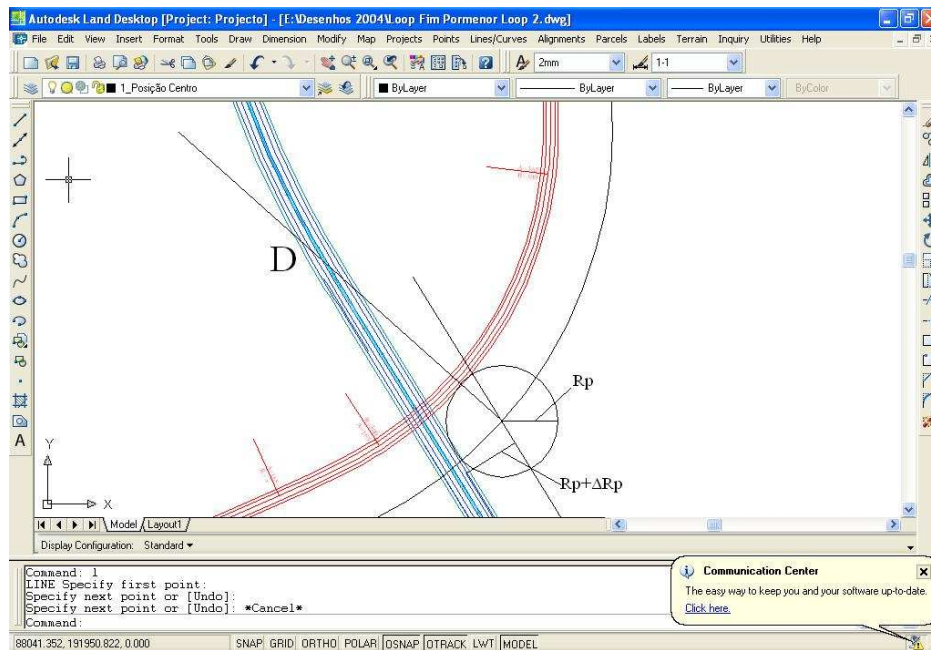


Fig.3.16 – Centro da Curva Circular do Ramo Interior do Quadrante I

O próximo passo é desenhar as curvas de transição junto às duas estradas e, usando o comando “Trim”, apaga-se a parte do círculo que não faz parte do ramo. O desenho das curvas de transição pode ser feito de forma automática através do comando “Lines/Curves>Create Spirals>Attach Spiral...”. Depois de seleccionado o comando aparece uma janela onde se escolhe uma das opções que se podem ver na Fig. 3.17.

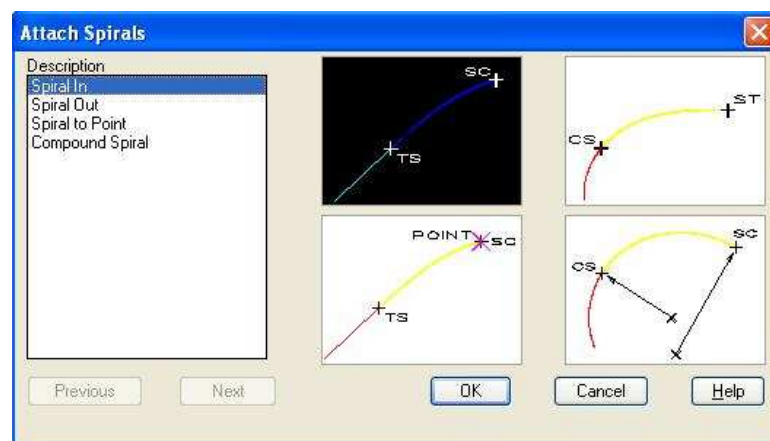


Fig.3.17 – Criação de Curvas de Transição

Depois de escolhida a opção desejada, selecciona-se o ponto onde se inicia a curva de transição. De seguida, o programa pede que seja introduzido o valor do parâmetro da curva ou o seu comprimento, pedindo de seguida a introdução do raio. Finalmente define-se este conjunto de linhas como um alinhamento e criam-se offsets de 5.25 metros para o bordo exterior (4 m da faixa de rodagem mais 1.25 m de sobrelargura), 6.25 metros para a berma esquerda e 1 metro para a berma direita.

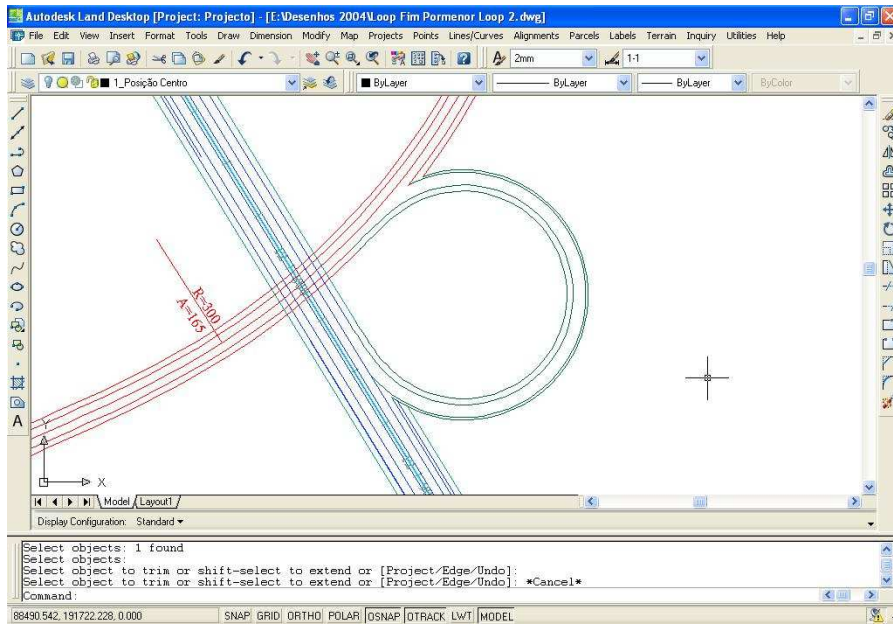


Fig.3.18 – Planta do Ramo Interior do Quadrante I

3.3.2.2. Quadrante III

Neste quadrante, ao contrário do que aconteceu no quadrante I, o ramo interior será realizado através de uma curva ovóide devido ao facto de se encontrar do lado interior da curva da estrada secundária. Os cálculos para a definição da posição do centro do ramo são idênticos aos efectuados para a curva em S, exceptuando as equações (4) e (5) que são substituídas pelas equações (12) e (13).

$$\Delta X = X_{mp} - X_{mg} \quad (12)$$

$$\Delta Y = (R_g + \Delta R_g) - (R_p + \Delta R_p) \quad (13)$$

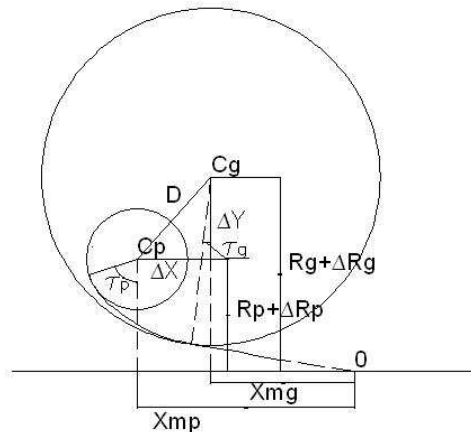


Fig.3.19 – Curva Ovóide

Considerou-se que o raio e os parâmetros das curvas de transição deste ramo seriam iguais aos que foram usados na definição do ramo interior do quadrante I. Visto que o ramo deste quadrante irá concordar com a estrada secundária na zona da curva de transição desta, o problema no desenho deste ramo reside no facto de o raio do bordo não ser constante, como acontece na curva circular. Assim, foi necessário realizar o esquema da Fig.3.19 várias vezes com valores diferentes para R_g até se descobrir o valor que permite concordar as duas curvas.

Quadro 3.2 – Valores Calculados para a Curva Ovíde

R (m)	A (m)	L (m)	X (m)	Y (m)	τ (rad)	Xm (m)	ΔR (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
45	36	28.8	28.506	3.05	0.32	14.351	0.765		
305.395	36	4.244	4.244	0.01	0.007	2.122	0.002	12.229	259.632

Definindo um valor de D igual a 259.92 m, definiu-se o bordo interior do ramo de forma idêntica ao que foi feito para o quadrante I. Os restantes limites do ramo (bordo exterior e bermas) foram desenhados com as mesmas distância usadas no quadrante I.

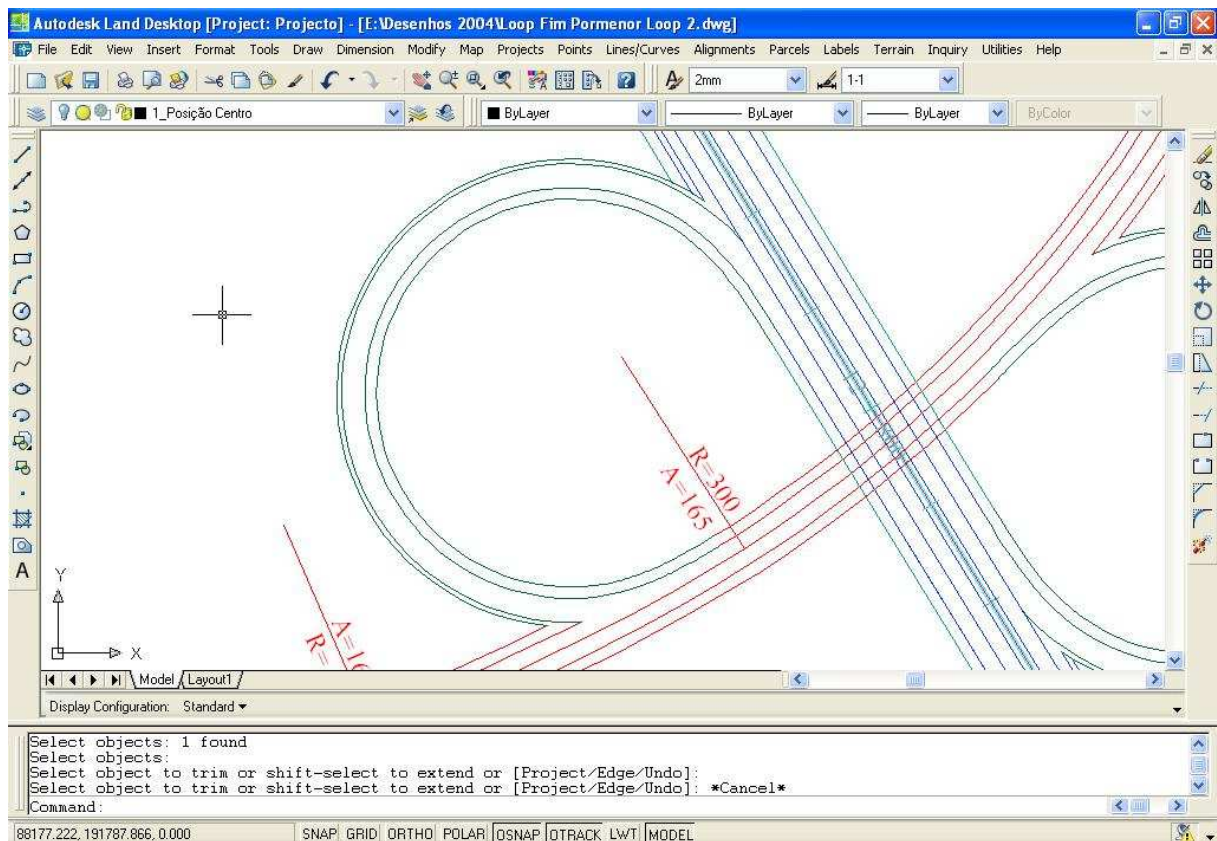


Fig.3.20 – Planta do Ramo Interior do Quadrante III

3.3.3. DEFINIÇÃO DO RAMO DIRECTO EM PLANTA

De forma a minimizar a área ocupada pelo nó, decidiu-se que os ramos directos seriam adaptados ao traçado dos ramos interiores correspondentes. Para que tal aconteça é necessário definir o raio da parte circular do bordo direito do ramo directo, tal como aconteceu com o ramo interior.

Aos 45 metros do raio do ramo directo somam-se os 5.25 m da largura da faixa de rodagem do mesmo e 1 metro da sua berma esquerda. Visto que os dois ramos formarão um perfil transversal contínuo, é necessário separar os dois sentidos por um separador cuja largura será de 0.6 m. Soma-se ainda 1 m da berma esquerda do ramo directo e, finalmente, a largura da faixa de rodagem do ramo directo que, visto que o raio deste será com certeza superior a 55 m, terá uma largura de 5 metros (4 m da faixa de rodagem mais 1 m de sobrelargura). Segundo estas contas, o raio do ramo directo terá um valor de 57.85 m.

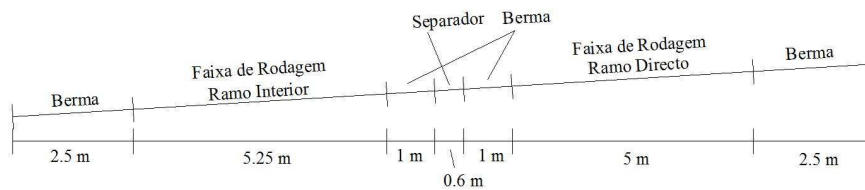


Fig.3.21 – Perfil Transversal do Ramo Conjunto

Junto às duas estradas a concordância do ramo directo será realizada através de curvas compostas por curvas de transição e curvas circulares de curvatura contrária à da parte circular definida anteriormente. Decidiu-se que estas curvas teriam raio igual a 45 metros pelo que as curvas de transição manterão o parâmetro definido aquando do desenho do ramo interior. Junto à parte circular de raio igual a 57.85 m o parâmetro das curvas de transição será igual a 45 metros de forma a respeitar o disposto na Norma de Nós de Ligação.

Definido o traçado do bordo direito do ramo directo, repete-se o procedimento usado nos ramos interiores para a definição dos seus limites.

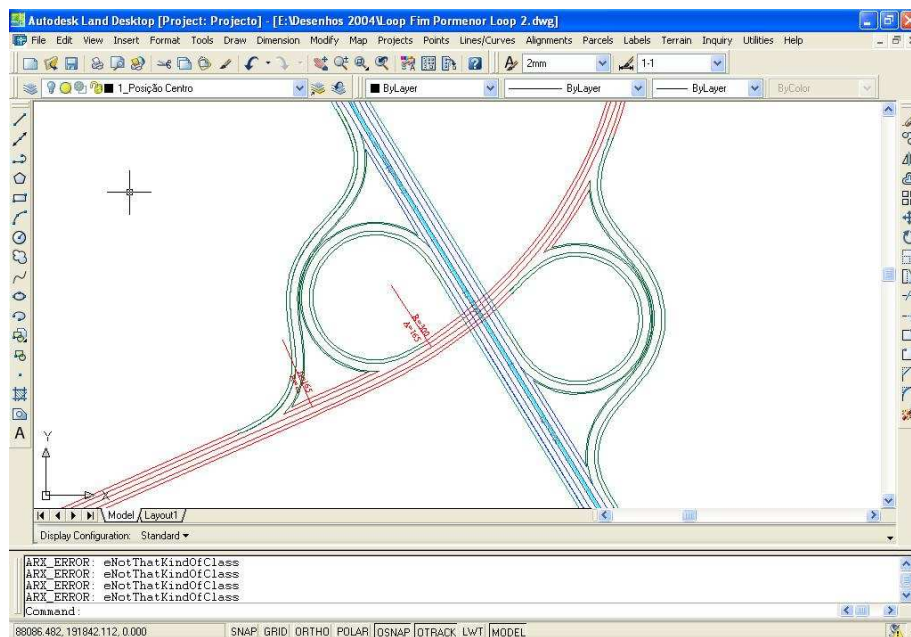


Fig.3.22 – Planta dos Ramos Directos

3.3.4. DEFINIÇÃO DO TRAÇADO DAS INTERSECÇÕES

Para que um nó em meio trevo incompleto permita todos os movimentos possíveis no cruzamento de duas estradas, é necessário definir intersecções de nível junto à estrada secundária, visto que a estrada principal, devido à sua importância, não permite movimentos de viragem à esquerda. A definição destas intersecções só é possível porque a estrada secundária é uma estrada municipal e, por isso, permite os referidos movimentos.

Como foi referido anteriormente, os dois ramos de cada quadrante estarão separados apenas por um separador central nas secções onde seguem lado a lado. Visto ser necessária a construção de intersecções de nível na secção do nó junto à estrada secundária, será necessário prolongar os referidos separadores até à cabeça montante de cada ilha separadora.

Foi decidido que a intersecção do nó com a estrada secundária seria realizada na perpendicular a esta, pelo que a definição do traçado das ilhas separadoras é a que foi exemplificada na secção 2.2.3.1 do presente relatório, tendo sido tomada como largura máxima da ilha o valor de 5 metros.

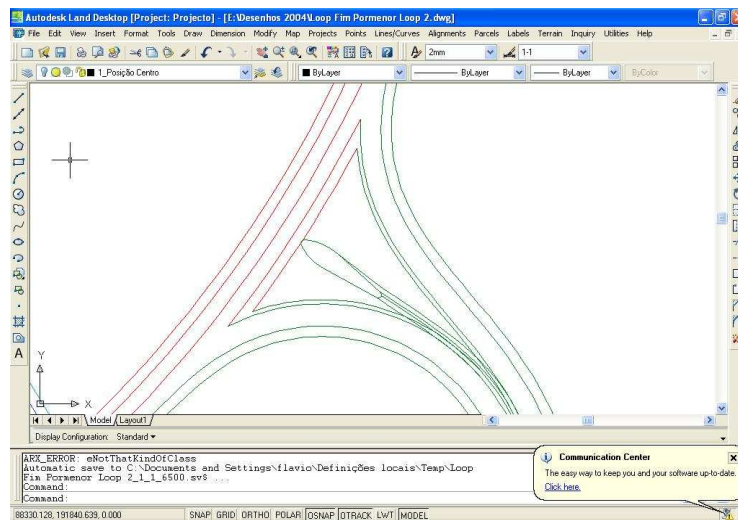


Fig.3.23 – Ilha Separadora da intersecção do Quadrante I

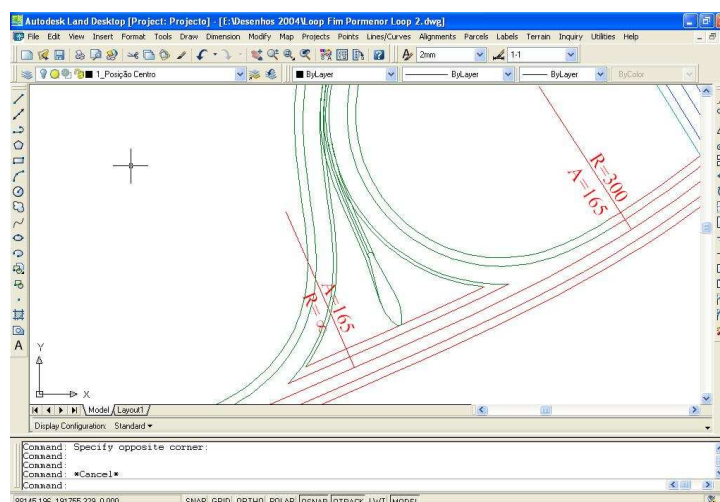


Fig.3.24 – Ilha Separadora da intersecção do Quadrante III

Definidas as ilhas separadoras, pode-se então desenhar os limites das vias de viragem à esquerda. Como já foi referido, a Norma de Intersecções impõe para a largura destas vias valores de 4 metros para a via de saída do nó e 5 metros para a via de entrada.

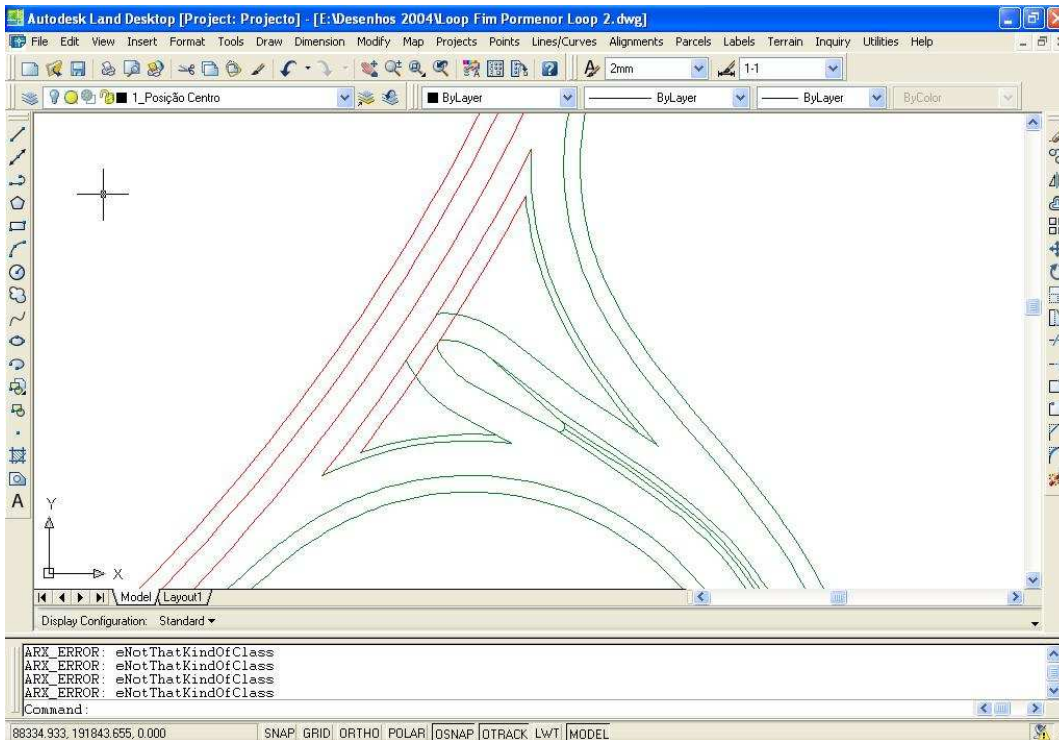


Fig.3.25 – Vias de Viragem à Esquerda da Intersecção do Quadrante I

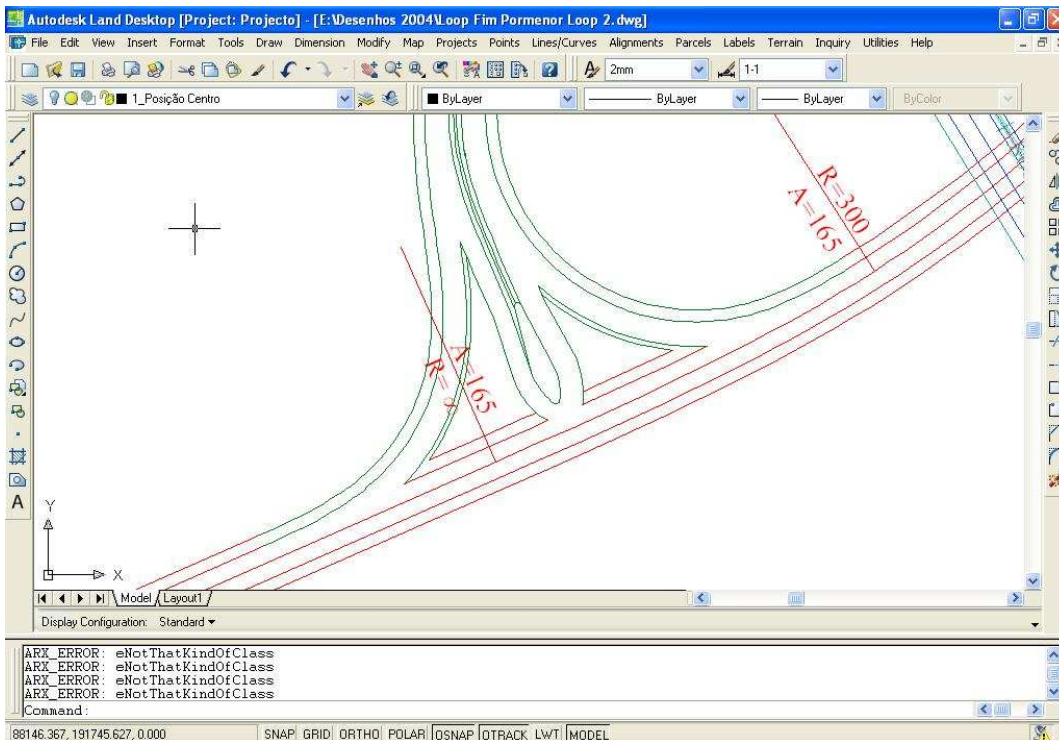


Fig.3.26 – Vias de Viragem à Esquerda da Intersecção do Quadrante III

Para concluir o traçado das intersecções falta apenas definir as ilhas direccionais. Como se pode ver nas Figs. 3.25 e 3.26, os seus locais de implantação estão já perfeitamente definidos. Resta apenas desenhar os seus bordos que representarão a materialização das ilhas. Na Fig.2.8 do capítulo anterior é possível ver um exemplo dos limites das ilhas direccionais. Para este caso específico foi decidido que as ilhas direccionais iriam distar 0.5 m dos bordos das vias do nó e da berma da estrada secundária. Também os raios R_1 , R_2 e R_3 serão iguais a 0.5 m.

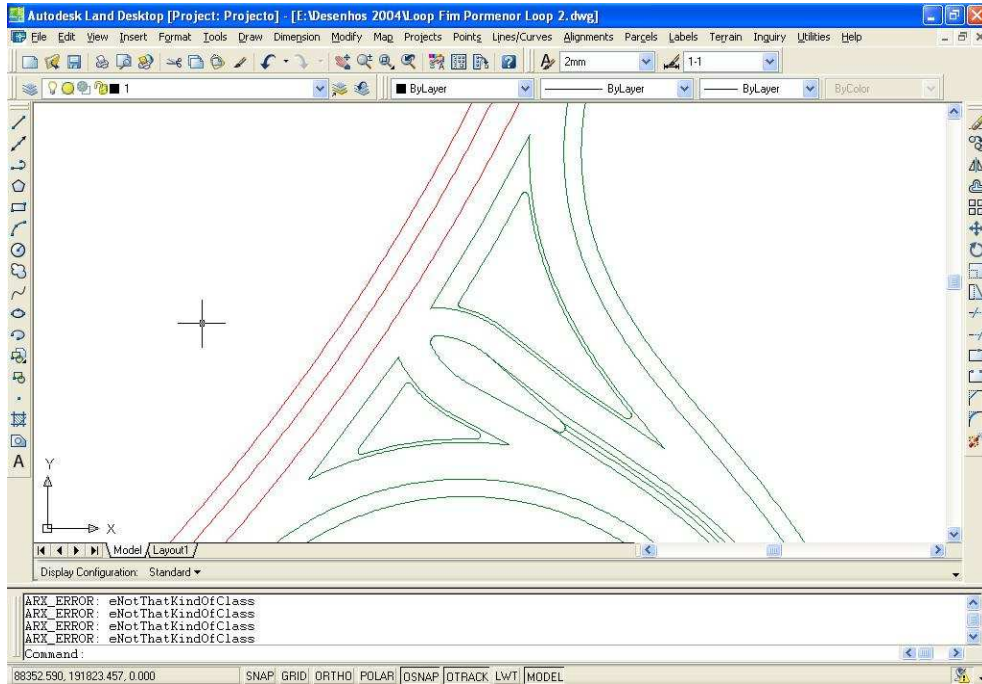


Fig.3.27 – Intersecção do Quadrante I

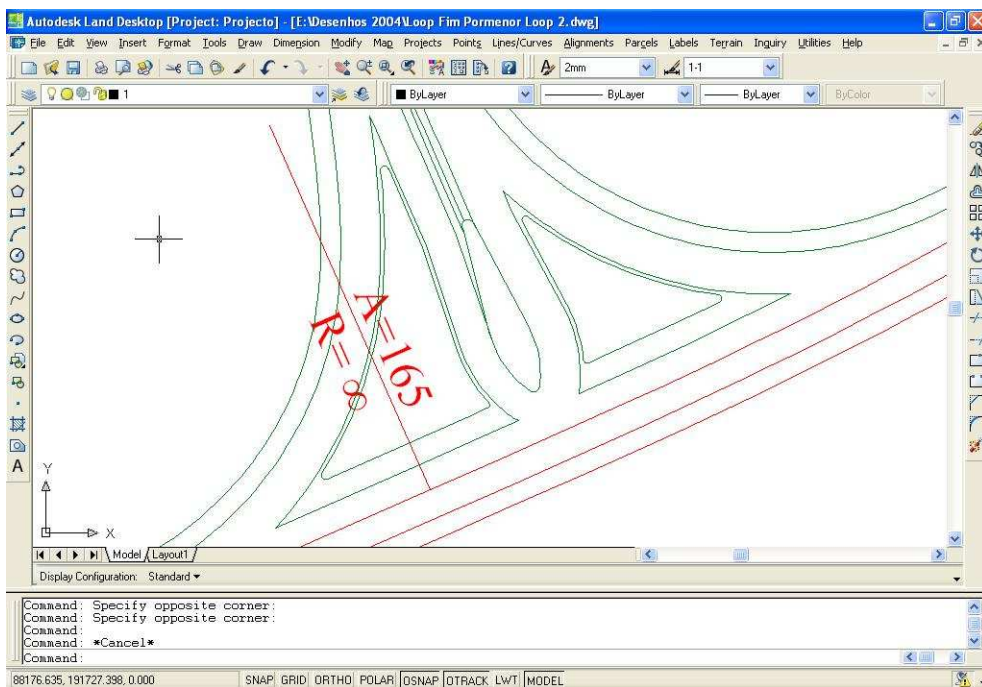


Fig.3.28 – Intersecção do Quadrante III

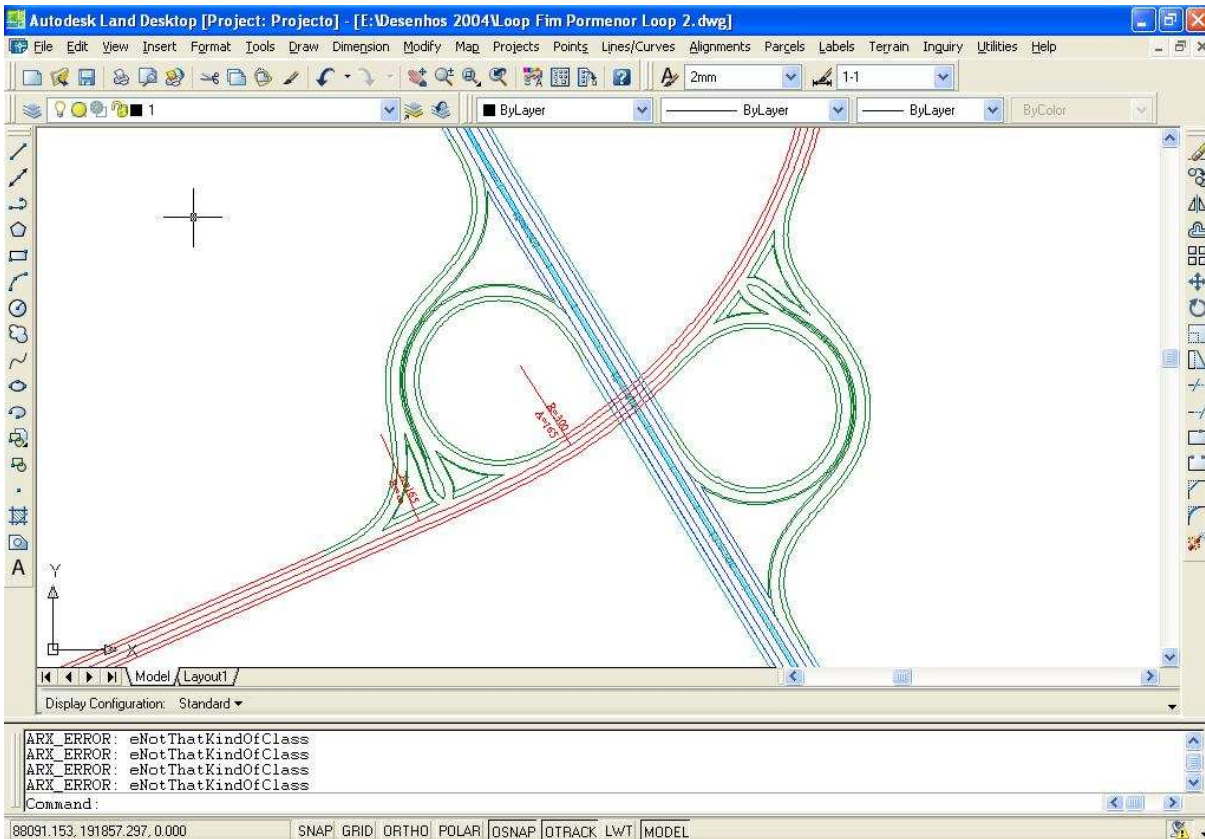


Fig.3.29 – Planta Geral do Nó de Ligação

3.3.5. PERFIS LONGITUDINAIS DOS RAMOS

Depois de completamente desenhada a planta do nó de ligação, é necessário proceder à definição das rasantes dos quatro ramos que foram elaborados. O primeiro passo passará pelo desenho do perfil longitudinal do terreno ao longo de cada um dos ramos para que, posteriormente se possa desenhara rasante de cada ramo sobre o correspondente perfil do terreno, para que seja possível ter uma perspectiva geral dos aterros e escavações.

3.3.5.1. Elaboração do Modelo Digital do Terreno

Como foi referido no início deste capítulo, foi fornecido um modelo digital do terreno previamente definido. Este modelo digital é formado por um conjunto vasto de rectas que ligam todos os pontos do terreno e às quais estão associadas coordenadas (x, y e z) que permitem ao programa calcular todo o perfil longitudinal do terreno ao longo de um alinhamento definido pelo utilizador.

Para usar este modelo digital é necessário copiar os ficheiros que o compõem para a pasta que foi atribuída ao projecto. De seguida é necessário definir um layer no desenho com as já referidas rectas que compõem o modelo digital. Para isso usa-se o menu "Terrain" no topo da janela e selecciona-se a opção "Edit Surface>Import 3D Lines". Abre-se a janela da Fig.3.30 na qual se deve seleccionar a superfície desejada e carregar "OK".

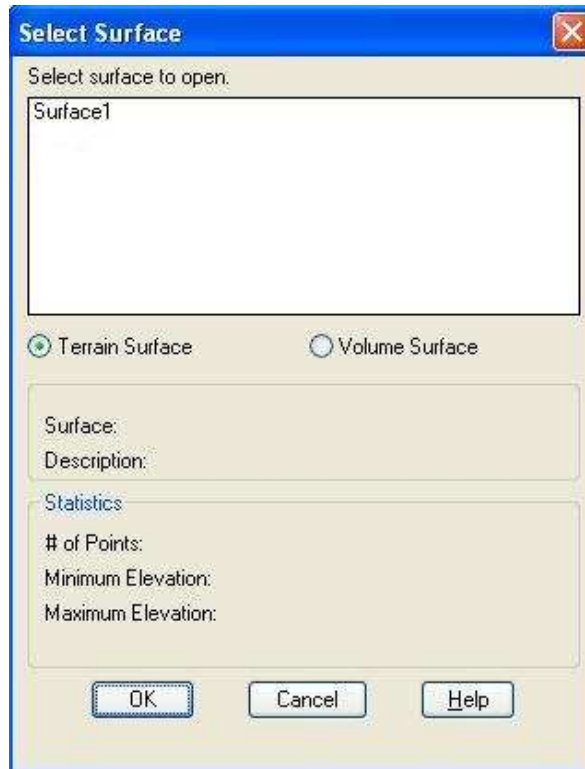


Fig.3.30 – Menu “Select Surface”

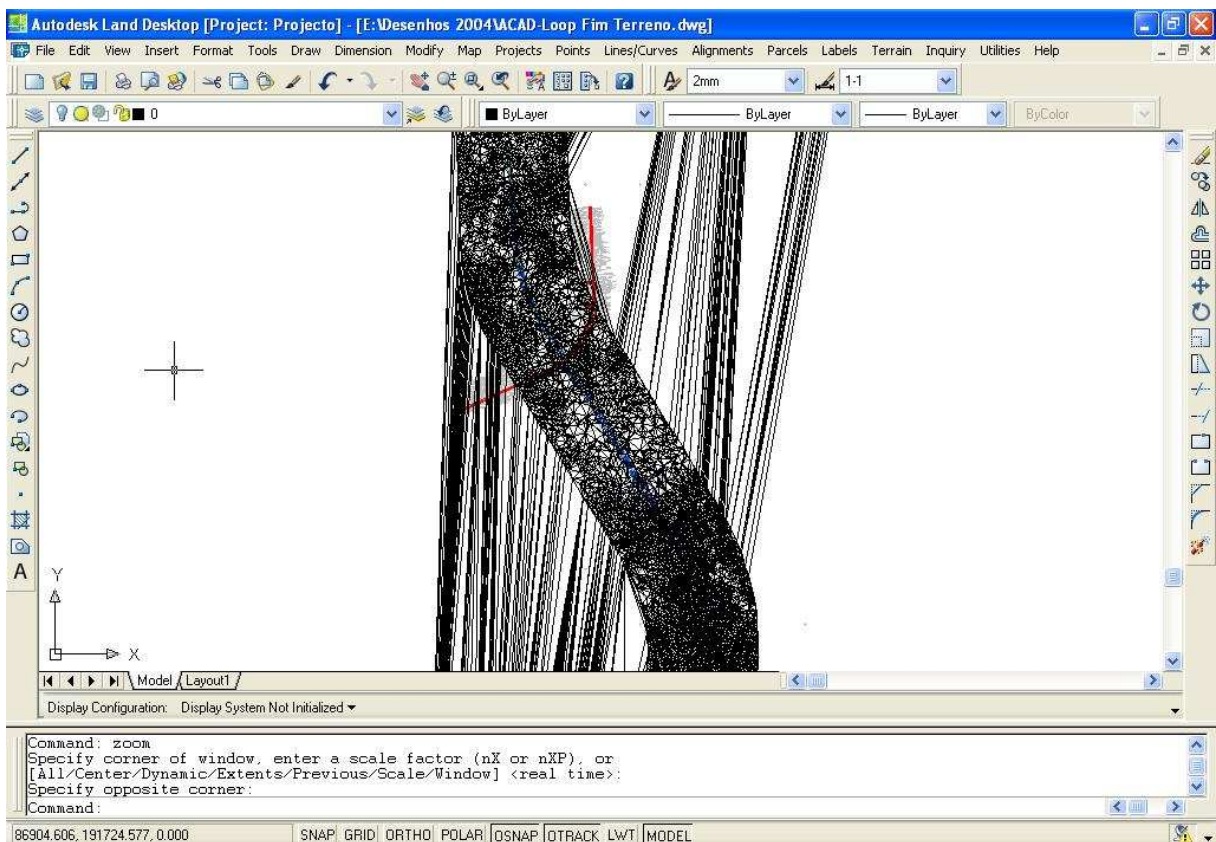


Fig.3.31 – Modelo Digital do Terreno

3.3.5.2. Elaboração de Perfis Longitudinais do Terreno

Depois de definido o modelo digital do terreno, é possível passar à definição dos perfis longitudinais do terreno. Essa definição é realizada através de um aplicativo do Land Desktop denominado Civil Design. Para o ligar usa-se o menu “Projects” no topo da janela e selecciona-se a opção “Menu Palettes...”, abrindo-se de seguida a seguinte janela.



Fig.3.32 – “Menu Palette Manager”

Seleccionando a opção “Civil Design 2004”, pode-se notar que os menus superiores sofreram algumas alterações. Antes de efectuar o desenho dos perfis longitudinais o programa necessita de definir as secções transversais ao longo do alinhamento pretendido. Para a definição das secções transversais, selecciona-se o alinhamento da forma que já foi descrita anteriormente e, de seguida, usa-se o menu “Cross Sections”, escolhendo a opção “Existing Ground>Sample From Surface”, o que fará aparecer a janela da figura seguinte e onde basta carregar em “OK”.

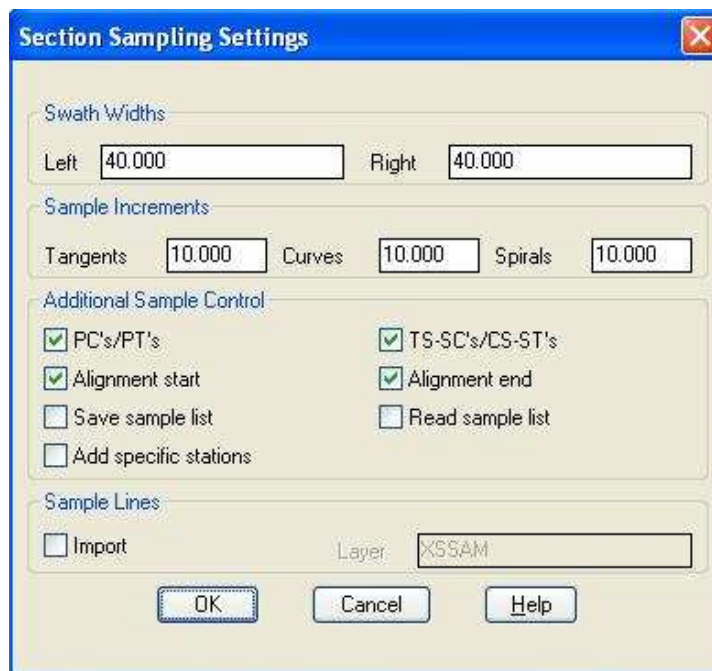


Fig.3.33 – Menu “Section Sampling Settings”

De seguida o programa pergunta qual é a quilometragem da qual que se pretende definir as secções transversais. Neste caso pretendia-se o desenho dos perfis longitudinais ao longo de todo o comprimento dos alinhamentos. Para concluir o desenho dos perfis longitudinais selecciona-se a opção “Create Perfil>Full Profile...” no menu “Profiles”, fazendo aparecer a janela da Fig. 3.34.



Fig.3.34 – Menu “Profile Generator”

Nesta janela é possível escolher, uma vez mais, a quilometragem do alinhamento pretendida além das características da grelha como a cota inicial (“Datum”), o espaçamento horizontal (“Horizontal spacing”) e vertical (“Vertical spacing”) e a altura (“Grid height”). De seguida o programa pede para se indicar um ponto para o desenho do perfil. Deve-se seleccionar um ponto suficientemente afastado do desenho da planta, para que o perfil não se sobreponha à mesma. Finalmente o programa pergunta se pretende eliminar os perfis definidos anteriormente, devendo-se responder “No”.

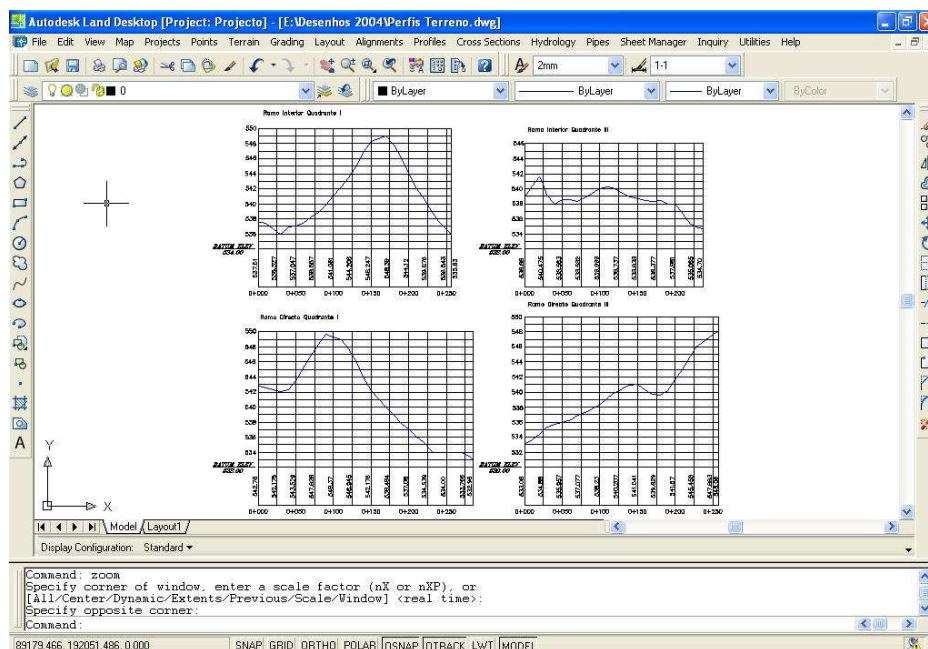


Fig.3.35 – Perfis Longitudinais do Terreno

3.3.5.3. Desenho das Rasantes

A função de um nó é o de fazer a ligação entre duas estradas que se cruzam desniveladas. Por isso, as rasantes dos ramos têm que respeitar as cotas dos pontos de concordância com as duas estradas. Além desses pontos, é preciso ter em atenção que durante os metros iniciais e finais dos ramos estes seguem ao longo das estradas pelo que se deve tentar manter a sobreelevação da estrada até que o ramo não esteja ligado a esta.

Para que a sobreelevação das estradas se mantenha nos metros iniciais dos ramos, é necessário determinar as cotas ao eixo em algumas secções e depois calcular a cota respectiva do bordo que liga ao ramo. No caso da ligação do ramo interior do quadrante I com a estrada secundária, como as suas curvaturas têm sinais contrários, a sobreelevação de cada um será também em sentido contrário, sendo que a mesma situação acontece na ligação do ramo directo do quadrante I com a estrada secundária. De forma a minimizar a sua transição, fixou-se a sobreelevação da estrada secundária como sendo igual a 5%, em vez dos 7% que deveriam existir numa situação normal.

No quadrante III, o ramo interior liga na curva de transição, ou seja, a sobreelevação não é constante ao longo do seu comprimento. Foi considerado que o disfarce da sobreelevação no intradorso da estrada secundária seria feito linearmente ao longo da curva de transição.

No caso do ramo directo do quadrante III, a sua ligação com a estrada principal é feita no extradorso de uma curva de transição. Considerou-se que aqui o disfarce da sobreelevação seria parabólico, fixando que no ponto de osculação do alinhamento recto com a curva de transição a inclinação da via exterior seria nula (0%) e que a sobreelevação final seria de 7%.

Nas ligações dos ramos em alinhamentos rectos das duas estradas foram consideradas inclinações das vias iguais a 2,5%.

Depois de calculadas as cotas de passagem obrigatória das rasantes é necessário determinar um traçado para as rasantes que se aproxime o máximo possível dessas cotas. As rasantes são constituídas apenas por dois elementos, trainéis e curvas verticais. Para a determinação das características das curvas verticais é preciso ter em conta as seguintes expressões:

$$D = R * (i_1 - i_2) \quad (14)$$

$$y = y_i + i_1 * x - \frac{x^2}{2 * R} \quad (15)$$

Onde D representa o desenvolvimento da curva vertical e R o seu raio, i_1 e i_2 representam as inclinações dos trainéis sendo positivos se os trainéis foram ascendentes e negativos se foram descendentes. Na equação 15, y representa a cota de um ponto genérico à distância x do início da curva vertical e y_i representa a cota do ponto inicial da respectiva curva vertical.

Só depois de definidas as rasantes dos ramos interiores é que foi possível definir as dos ramos directos, pois como durante algum do seu desenvolvimento os dois ramos em cada quadrante seguem unidos, as cotas definidas para o ramo interior ao longo desse desenvolvimento influenciarão as cotas do respectivo ramo directo ao longo desse mesmo desenvolvimento. Assim, considerou-se uma sobreelevação máxima de 6% nos ramos, que seria aplicada nesse troço.

Definidas as características das rasantes, falta apenas a sua representação gráfica. O aplicativo Civil Design permite também o desenho automático das curvas verticais, sendo apenas necessário o desenho prévio dos trainéis que se pretende concordar. Para o desenho das curvas verticais é necessário seleccionar previamente o layer onde vai ser desenhada a rasante através do comando "FG Centerline

Tangents>Set Current Layer” no menu “Profiles”. De seguida selecciona-se o comando “FG Vertical Curves”, também no menu “Profiles”, fazendo aparecer a seguinte janela.

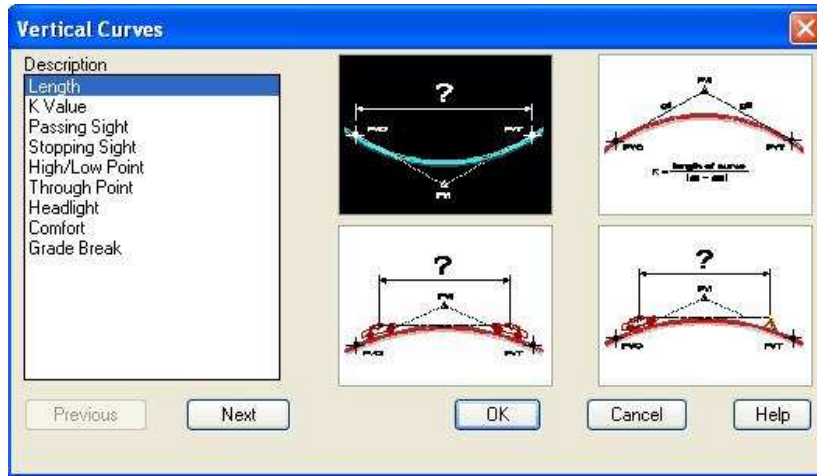


Fig.3.36 – Menu “Vertical Curves”

Como se pode ver na Fig.3.36, é possível escolher várias opções para a definição das curvas verticais. Tendo em conta que as características das rasantes foram todas determinadas anteriormente, selecciona-se a opção “K Value”. A escolha desta opção faz com que o programa peça para indicar os dois trainéis a concordar, pedindo de seguida o valor pretendido para K, sendo que K é definido pela seguinte equação:

$$K = \frac{R}{100} \quad (16)$$

Finalmente, o programa pede que seja confirmado o valor de D, desenhando de seguida a curva vertical indicada.

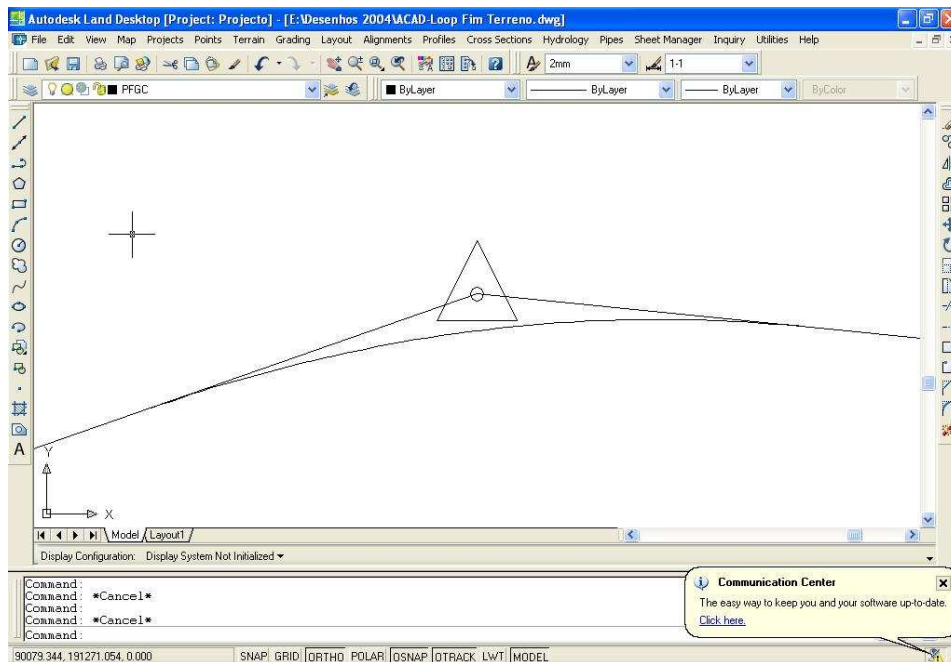


Fig.3.37 – Exemplo de Curva Vertical

Depois de desenhadas todas as curvas verticais das rasantes falta apenas completar a legenda dos perfis longitudinais, algo que o programa permite ser feito de forma automática. Em primeiro lugar, é necessário definir o conjunto dos trainéis e das curvas verticais desenhadas como rasantes, através do comando “FG Vertical Alignments>Define FG Centerline” no menu “Profiles”. O programa pede para se escolher o ponto inicial da rasante, bastando para isso seleccionar o trainel inicial, próximo do seu ponto inicial. De seguida, o programa indica que se devem indicar todos os restantes elementos da rasante (trainéis e curvas verticais). Finalmente, usando o comando “FG Vertical Alignments>Import”, também no menu “Profiles”, o programa pede para se seleccionar a rasante pretendida, perguntando de seguida se se deseja que o programa escreva as características das curvas verticais e dos trainéis no desenho. À pergunta “Delete finished ground profile layer?” deve ser respondido “No”.

Seguindo estes passos para os quatro ramos do nó, foram desenhadas as rasantes que se podem ver na Fig.3.38.

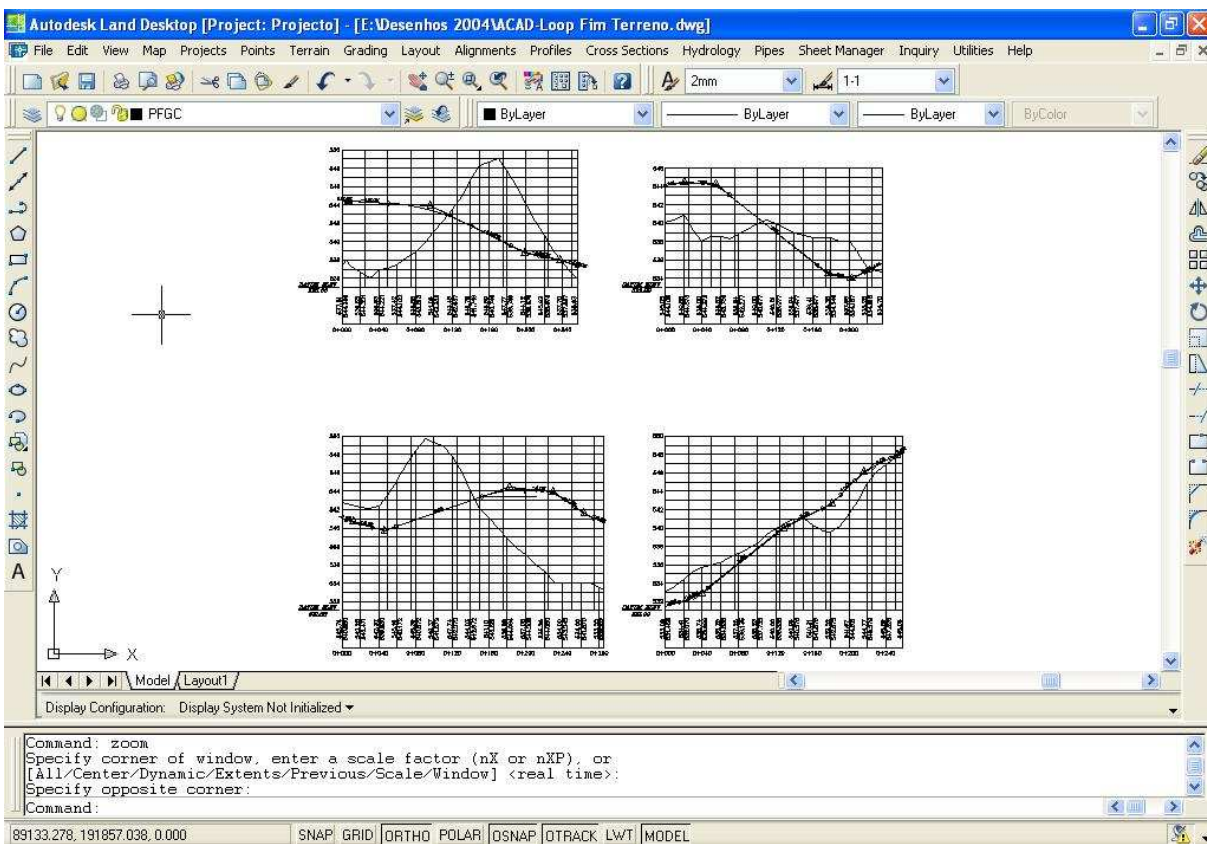


Fig.3.38 – Rasantes Desenhadas

4

CONCLUSÃO

A realização deste trabalho permitiu uma percepção mais realista dos conhecimentos necessários à concepção de um projecto geométrico de um nó de ligação. Como já foi referido anteriormente, é preciso ter em atenção que este não é o único projecto necessário à construção de um nó de ligação, apesar de ser o mais importante.

Sem a ajuda de programas informáticos, todo este projecto implicaria um trabalho ainda mais demorado, pelo que se conclui que sem programas de desenho e de cálculo automático não seria possível um avanço tão rápido das infraestruturas rodoviárias como aquele que se verifica actualmente e que proporcionam uma melhoria significativa da qualidade de vida dos seus utilizadores.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Norma de Nós de Ligação*. Junta Autónoma de Estradas, 1993.
- [2] *Norma de Intersecções*. Junta Autónoma de Estradas, 1993.
- [3] *Norma de Traçado*. Junta Autónoma de Estradas, 1992.
- [4] França, Adalberto Quelhas da Silva, *Sebenta de Vias de Comunicação I*. FEUP, 1995.
- [5] França, Adalberto Quelhas da Silva, *Sebenta de Vias de Comunicação II*. FEUP, 1995.
- [6] França, Adalberto Quelhas da Silva, *Tópicos e Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos*.

ANEXOS

A.1. CARACTERÍSTICAS DAS ESTRADAS

Neste capítulo apresentar-se-ão listagens das cotas, coordenadas e características de todas as directrizes que serão apresentadas nas peças desenhadas.

Quadro A.1 – Características da Estrada Principal (Km 12+600.000 a 13+000.000)

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
12+600.000	Curva Circular (R=700 m)	529.540	191 939.474	88 217.600
12+609.712	Curva Circular / Curva de Transição	529.880	191 930.824	88 222.014
12+625.000	Curva de Transição (A=265 m)	530.415	191 917.329	88 229.198
12+650.000	Curva de Transição (A=265 m)	531.290	191 895.544	88 241.460
12+675.000	Curva de Transição (A=265 m)	532.165	191 874.025	88 254.185
12+700.000	Curva de Transição (A=265 m)	533.040	191 852.666	88 267.178
12+710.034	Curva de Transição / Alinhamento Recto	533.391	191 844.113	88 272.424
12+725.000	Alinhamento Recto	533.915	191 831.358	88 280.253
12+750.000	Alinhamento Recto	534.790	191 810.051	88 293.331
12+775.000	Alinhamento Recto	535.665	191 788.745	88 306.408
12+800.000	Alinhamento Recto	536.534	191 767.438	88 319.486
12+825.000	Alinhamento Recto	537.360	191 746.131	88 332.563
12+850.000	Alinhamento Recto	538.136	191 724.824	88 345.641
12+875.000	Alinhamento Recto	538.861	191 703.518	88 358.718
12+900.000	Alinhamento Recto	539.537	191 682.211	88 371.796
12+925.000	Alinhamento Recto	540.163	191 660.904	88 384.874
12+950.000	Alinhamento Recto	540.738	191 639.597	88 397.951
12+975.000	Alinhamento Recto	541.264	191 618,984	88 411.029
13+000.000	Alinhamento Recto	531.740	191 596.984	88 424.106

Quadro A.2 – Características da Estrada Secundária Modificada (Km 0+000.000 a 0+625.000)

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
0+000.000	Alinhamento Recto	531.100	192 316.729	88 416.770
0+025.000	Alinhamento Recto	531.171	192 291.753	88 417.847
0+050.000	Alinhamento Recto	531.350	192 266.776	88 418.925
0+075.000	Alinhamento Recto	531.600	192 241.799	88 420.003
0+100.000	Alinhamento Recto	531.800	192 216.822	88 421.080
0+125.000	Alinhamento Recto	531.800	192 191.846	88 422.158
0+150.000	Alinhamento Recto	531.800	192 166.869	88 423.236
0+175.000	Alinhamento Recto	531.855	192 141.892	88 424.313
0+200.000	Alinhamento Recto	532.047	192 116.915	88 425.391
0+225.000	Alinhamento Recto	532.379	192 091.939	88 426.469
0+250.000	Alinhamento Recto	532.849	192 066.962	88 427.546
0+270.919	Alinhamento Recto / Curva de Transição	533.350	192 046.062	88 428.448
0+275.000	Curva de Transição (A=165 m)	533.459	192 041.985	88 428.624
0+300.000	Curva de Transição (A=165 m)	534.207	192 017.003	88 429.551
0+325.000	Curva de Transição (A=165 m)	535.094	191 992.006	88 429.812
0+350.000	Curva de Transição (A=165 m)	536.120	191 967.028	88 428.830
0+361.669	Curva de Transição / Curva Circular	536.646	191 955.407	88 427.786
0+375.000	Curva Circular (R=300 m)	537.285	191 942.198	88 425.995
0+400.000	Curva Circular (R=300 m)	538.534	191 917.696	88 421.063
0+425.000	Curva Circular (R=300 m)	539.784	191 893.690	88 414.110
0+450.000	Curva Circular (R=300 m)	541.034	191 870.347	88 405.182
0+475.000	Curva Circular (R=300 m)	542.177	191 847.827	88 394.342
0+500.000	Curva Circular (R=300 m)	543.070	181 826.288	88 381.665
0+525.000	Curva Circular (R=300 m)	543.713	191 805.878	88 367.239
0+550.000	Curva Circular (R=300 m)	544.106	191 786.741	88 351.165
0+575.000	Curva Circular (R=300 m)	544.249	191 769.007	88 333.554
0+600.000	Curva Circular (R=300 m)	544.250	191 752.801	88 314.527
0+625.000	Curva Circular (R=300 m)	544.264	191 738.236	88 294.218

Quadro A.3 – Características da Estrada Secundária Modificada (Km 0+628.043 a 0+998.053)

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
0+628.043	Curva Circular / Curva de Transição	544.274	191 736.580	88 291.664
0+650.000	Curva de Transição (A=165 m)	544.443	191 725.437	88 272.749
0+675.000	Curva de Transição (A=165 m)	544.830	191 714.028	88 250.508
0+700.000	Curva de Transição (A=165 m)	545.426	191 703.523	88 227.823
0+718.793	Curva de Transição / Alinhamento Recto	546.011	191 695.912	88 210.640
0+725.000	Alinhamento Recto	546.230	191 693.411	88 204.959
0+750.000	Alinhamento Recto	547.242	191.683.336	88 182.079
0+775.000	Alinhamento Recto	548.509	191 673.262	88 159.199
0+800.000	Alinhamento Recto	549.724	191 663.188	88 136.318
0+825.000	Alinhamento Recto	550.882	191 653.113	88 113.438
0+850.000	Alinhamento Recto	552.112	191 643.039	88 090.558
0+875.000	Alinhamento Recto	553.339	191 632.964	88 067.678
0+900.000	Alinhamento Recto	554.613	191 622.890	88 044.798
0+925.000	Alinhamento Recto	555.781	191 612.815	88 021.917
0+950.000	Alinhamento Recto	556.971	191 602.741	87 999.037
0+975.000	Alinhamento Recto	558.132	191 592.666	87 976.157
0+998.053	Alinhamento Recto	559.200	191 583.376	87 955.059

Quadro A.4 – Características do Ramo Interior do Quadrante I

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
0+000.000	Curva Circular / Curva de Transição	544.386	191 774.928	88 344.733
0+004.27	Curva de Transição (A=36 m)	544.386	191 777.968	88 347.733
0+025.000	Curva de Transição (A=36 m)	544.296	191 791.918	88 363.032
0+033.070	Curva de Transição / Curva Circular	544.256	191 796.171	88 369.882
0+050.000	Curva Circular (R=45 m)	544.171	191 800.925	88 386.026
0+075.000	Curva Circular (R=45 m)	543.904	191 796.519	88 410.310
0+100.000	Curva Circular (R=45 m)	543.325	191 779.968	88 428.617
0+125.000	Curva Circular (R=45 m)	542.433	191 756.251	88 435.442
0+150.000	Curva Circular (R=45 m)	541.249	191 732.501	88 428.731
0+175.000	Curva Circular (R=45 m)	539.999	191 715.862	88 410.504
0+200.000	Curva Circular (R=45 m)	538.876	191 711.339	88 386.243
0+225.000	Curva Circular (R=45 m)	538.270	191 720.292	88 363.244
0+227.308	Curva Circular / Curva de Transição	538.217	191 721.733	88 361.442
0+250.000	Curva de Transição (A=36 m)	537.581	191 739.919	88 346.708
0+256.108	Curva de Transição / Alinhamento Recto	537.535	191 744.433	88 343.931

Quadro A.5 – Características do Ramo Interior do Quadrante III

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
0+000.000	Curva Circular / Curva de Transição	544.108	191 737.286	88 286.195
0+024.556	Curva de Transição / Curva Circular	544.398	191 727.006	88 264.012
0+025.000	Curva Circular (R=45 m)	544.400	191 726.904	88 263.580
0+050.000	Curva Circular (R=45 m)	544.192	191 728.146	88 238.932
0+075.000	Curva Circular (R=45 m)	542.677	191 742.200	88 218.645
0+100.000	Curva Circular (R=45 m)	540.677	191 764.841	88 208.822
0+125.000	Curva Circular (R=45 m)	538.677	191 789.258	88 212.417
0+150.000	Curva Circular (R=45 m)	536.677	191 808.106	88 228.350
0+175.000	Curva Circular (R=45 m)	534.796	191 815.716	88 251.827
0+200.000	Curva Circular (R=45 m)	534.198	191 809.800	88 275.787
0+208.121	Curva Circular / Curva de Transição	534.326	191 805.154	88 282.433
0+225.000	Curva de Transição (A=36 m)	535.050	191 792.496	88 293.525
0+236.921	Curva de Transição / Alinhamento Recto	535.586	191 782.454	88 299.944

Quadro A.6 – Características do Ramo Directo do Quadrante I

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
0+000.000	Alinhamento Recto / Curva de Transição	540.950	191 626.881	88 416.081
0+025.000	Curva de Transição (A=36 m)	540.321	191 649.111	88 404.785
0+028.800	Curva de Transição / Curva Circular	540.207	191 652.771	88 403.769
0+050.000	Curva Circular (R=45 m)	539.926	191 673.776	88 403.875
0+057.392	Curva Circular / Curva de Transição	540.085	191 680.779	88 406.217
0+075.000	Curva de Transição (A=36 m)	540.697	191 695.645	88 415.551
0+086.192	Curva de Transição / Curva de Transição	541.089	191 704.140	88 422.836
0+100.000	Curva de Transição (A=45 m)	541.572	191 720.506	88 436.286
0+121.196	Curva de Transição / Curva Circular	542.314	191 732.429	88 443.209
0+125.000	Curva Circular (R=57.85 m)	542.447	191 735.948	88 444.653
0+150.000	Curva Circular (R=57.85 m)	543.322	191 760.509	88 448.127
0+168.801	Curva Circular / Curva de Transição	543.879	191 778.700	88 443.713
0+175.000	Curva de Transição (A=45 m)	544.004	191 784.278	88 441.012
0+200.000	Curva de Transição (A=45 m)	544.208	191 804.521	88 426.418
0+203.805	Curva de Transição / Curva de Transição	544.197	191 807.427	88 423.961
0+225.000	Curva de Transição (A=36 m)	543.943	191 824.337	88 411.231
0+232.605	Curva de Transição / Curva Circular	543.659	191 831.144	88 407.855
0+250.000	Curva Circular (R=45 m)	542.549	191 848.121	88 404.594
0+252.016	Curva Circular / Curva de Transição	542.408	191 850.136	88 404.646
0+275.000	Curva de Transição (A=36 m)	541.027	191 872.394	88 409.993
0+280.816	Curva de Transição (A=36 m)	540.737	191 877.829	88 412.064
0+285.086	Curva de Transição / Curva Circular	540.523	191 881.817	88 413.592

Quadro A.7 – Características do Ramo Directo do Quadrante III

Quilometragem	Elemento	Cota (m)	M (m)	P (m)
0+000.000	Curva de Transição / Curva de Transição	531.458	191 900.180	88 228.664
0+001.287	Curva de Transição (A=36 m)	531.497	191 899.060	88 229.298
0+025.000	Curva de Transição (A=36 m)	532.256	191 877.686	88 239.454
0+030.087	Curva de Transição / Curva Circular	532.468	191 872.759	88 240.707
0+050.000	Curva Circular (R=45 m)	533.735	191 853.014	88 240.206
0+057.252	Curva Circular / Curva de Transição	534.315	191 846.154	88 237.877
0+075.000	Curva de Transição (A=36 m)	535.735	191 831.208	88 228.412
0+086.052	Curva de Transição / Curva de Transição	536.619	191 824.505	88 219.324
0+100.000	Curva de Transição (A=45 m)	537.735	191 812.282	88 212.081
0+121.056	Curva de Transição / Curva Circular	539.420	191 794.612	88 200.735
0+125.000	Curva Circular (R=57.85 m)	539.724	191 789.907	88 198.849
0+136.108	Curva Circular / Curva de Transição	540.382	191 780.251	88 196.369
0+150.000	Curva de Transição (A=45 m)	541.076	191 766.406	88 195.525
0+171.112	Curva de Transição / Curva de Transição	542.132	191 745.413	88 197.648
0+175.000	Curva de Transição (A=36 m)	542.345	191 741.562	88 198.173
0+199.912	Curva de Transição / Curva Circular	544.512	191 716.757	88 198.534
0+200.000	Curva Circular (R=45 m)	544.521	191 716.671	88 198.518
0+225.000	Curva Circular (R=45 m)	546.575	191 694.577	88 187.521
0+229.319	Curva Circular / Curva de Transição	546.792	191 691.537	88 184.451
0+250.000	Curva de Transição (A=36 m)	547.830	191 680.593	88 167.020
0+258.119	Curva de Transição / Alinhamento Recto	548.264	191 677.258	88 159.590

A.2. PEÇAS DESENHADAS

Desenho 1 – Planta de Implantação

Desenho 2 – Perfil Longitudinal da Estrada Principal (Km 12+600.000 a Km 13+000.000)

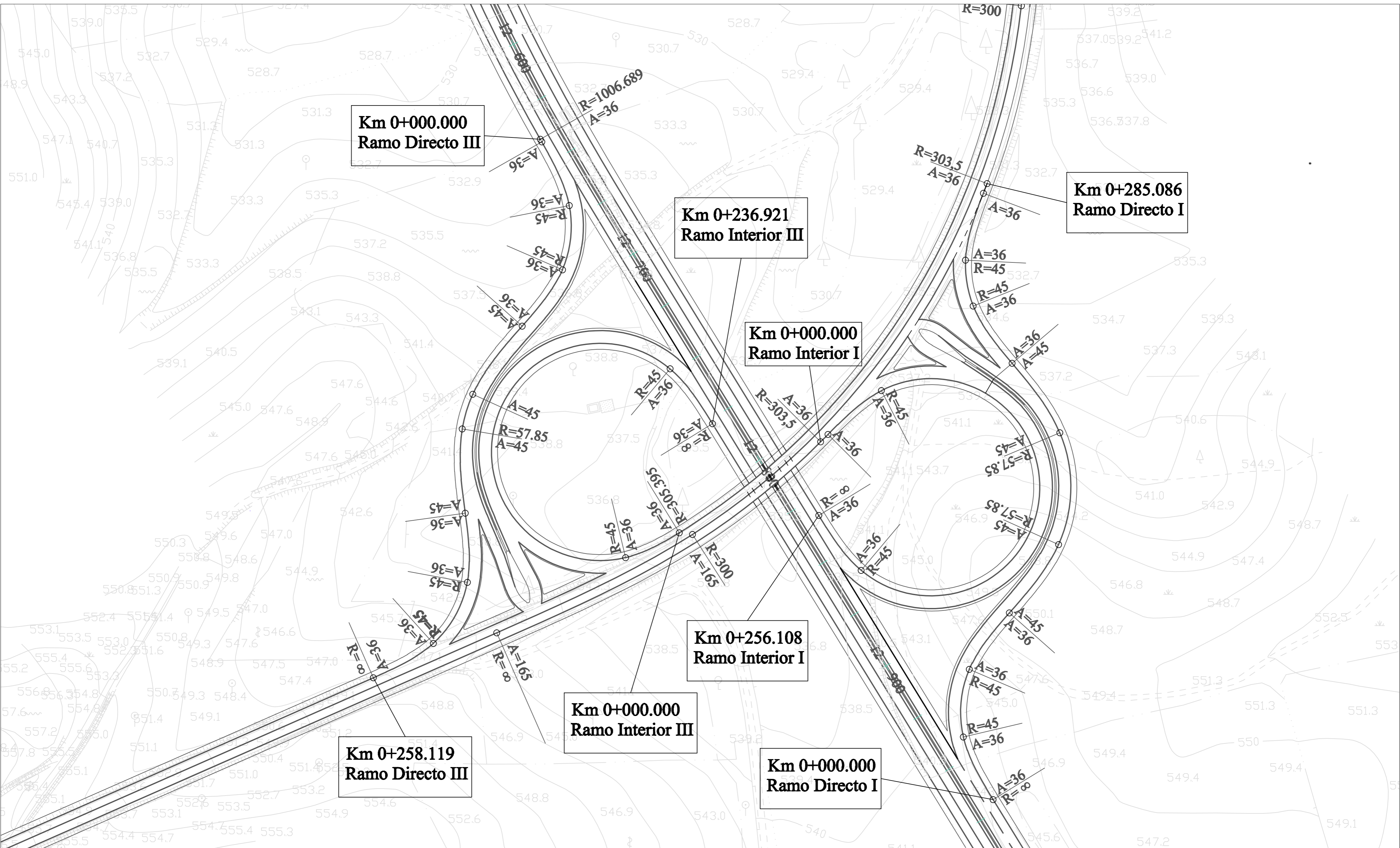
Desenho 3 – Perfil Longitudinal do Ramo Interior I

Desenho 4 – Perfil Longitudinal do Ramo Interior III

Desenho 5 – Perfil Longitudinal do Ramo Directo I

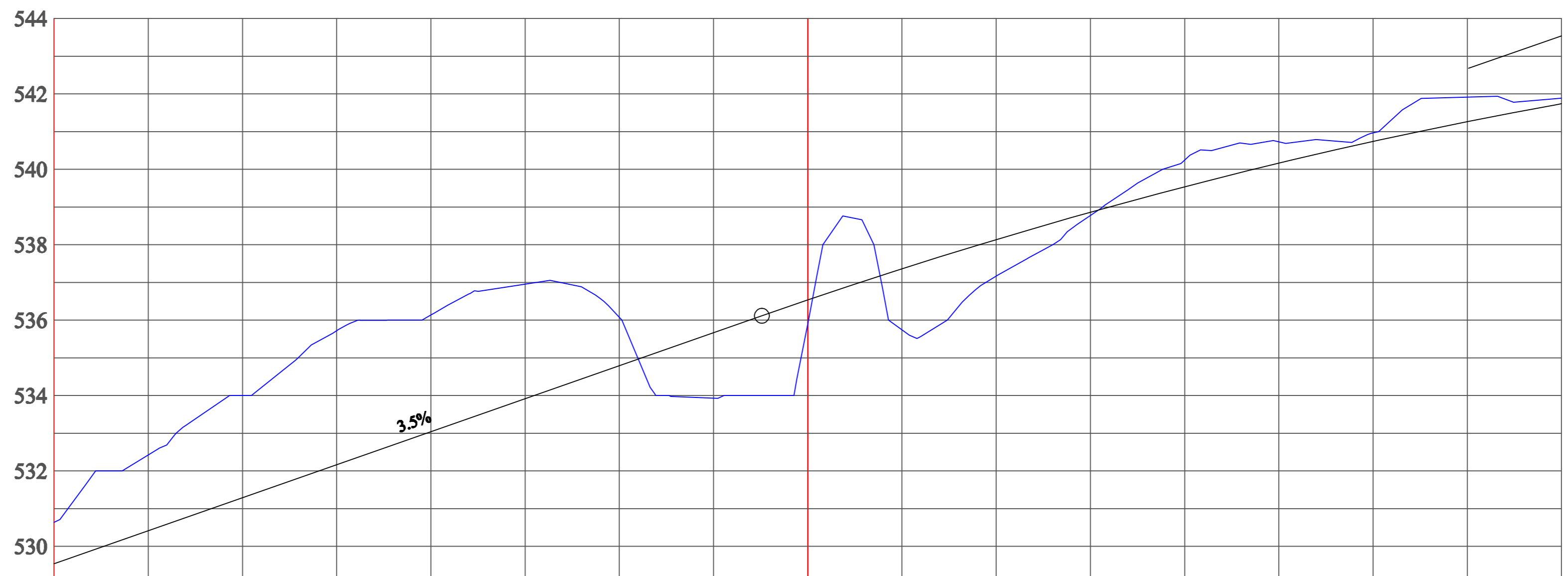
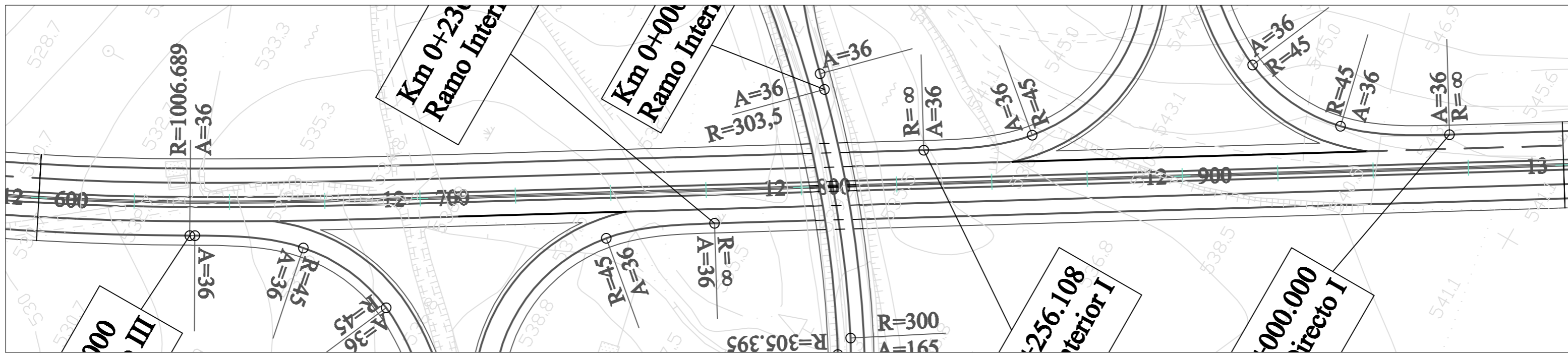
Desenho 6 – Perfil Longitudinal do Ramo Directo III

Desenho 7 – Perfil Longitudinal da Estrada Secundária (Km 0+150.000 a Km 0+775.000)



Designação: **PROJECTO DE EXECUÇÃO**
NÓ DE LIGAÇÃO EM MEIO TREVO INCOMPLETO
 PLANTA DE IMPLANTAÇÃO

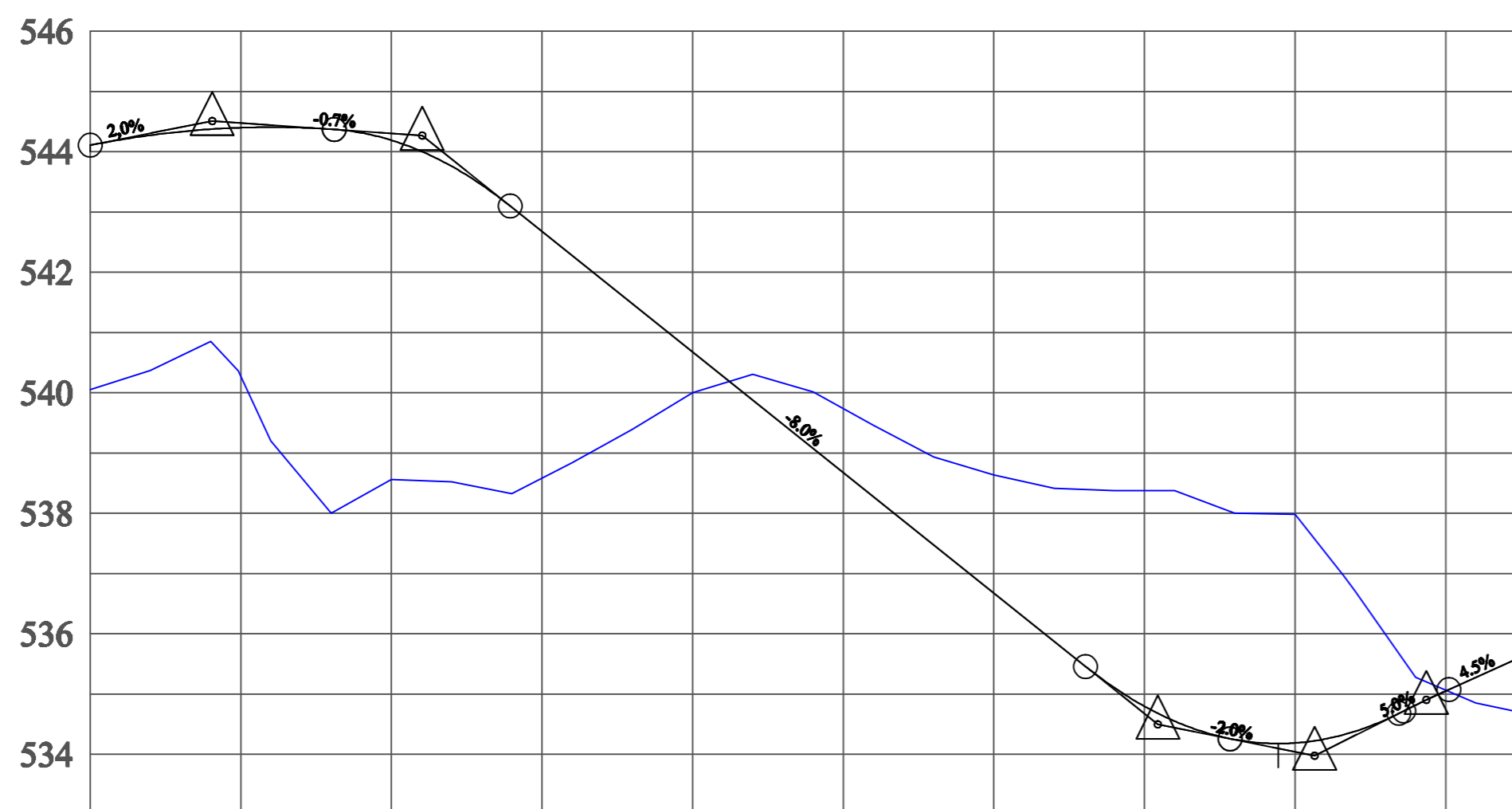
Escala Numérica:	1:1000		
Escala Gráfica: (m)	0	10	20 30
Data:	29/06/09	Folha:	01/01
		Nº Desenho:	1



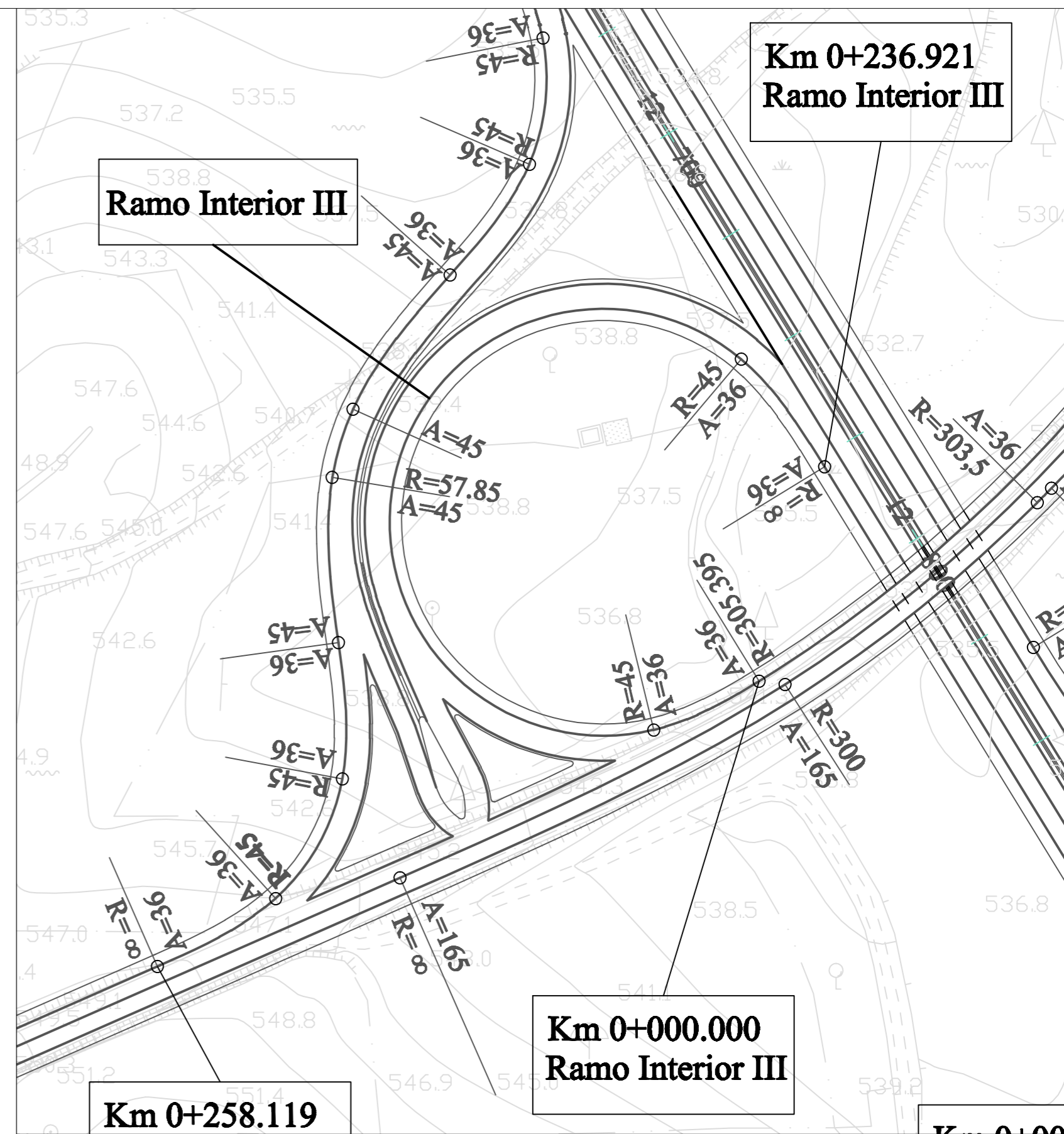
	12+600	12+650	12+700	12+750	12+800	12+850	12+900	12+950	13+000
QUILOMETRAGEM	12+600	12+650	12+700	12+750	12+800	12+850	12+900	12+950	13+000
COTAS DA RASANTE	529.540	530.415	531.290	532.165	533.040	533.915	534.790	535.665	536.534
COTAS DO TERRENO	530.63	532.42	534.00	535.72	536.13	536.95	538.07	539.33	539.96
ELEMENTOS DA RASANTE	i=3.5% L=187.854				Rv=12500 D=750.0				
SOBREELEVAÇÃO	-7.0%	-7.0%	-7.0%	-7.0%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%
PONTOS NOTÁVEIS	12+609.712		12+710.033	12+760.855					
DIAGRAMA DE CURVAS	R=700.000 D=9.712		A=265 L=100.321		R=8 L=289.967				

Designação: **PROJECTO DE EXECUÇÃO**
NÓ DE LIGAÇÃO EM MBIO TREVO INCOMPLETO
 PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL
 ESTRADA PRINCIPAL - Km 12+600 a Km 13+000

Escala Numérica: V=1:100
H=1:1000
 Escala Gráfica: (m) 0 10 20 30
 Data: 29/06/09 Folha: 01/01 Nº Desenho: 2

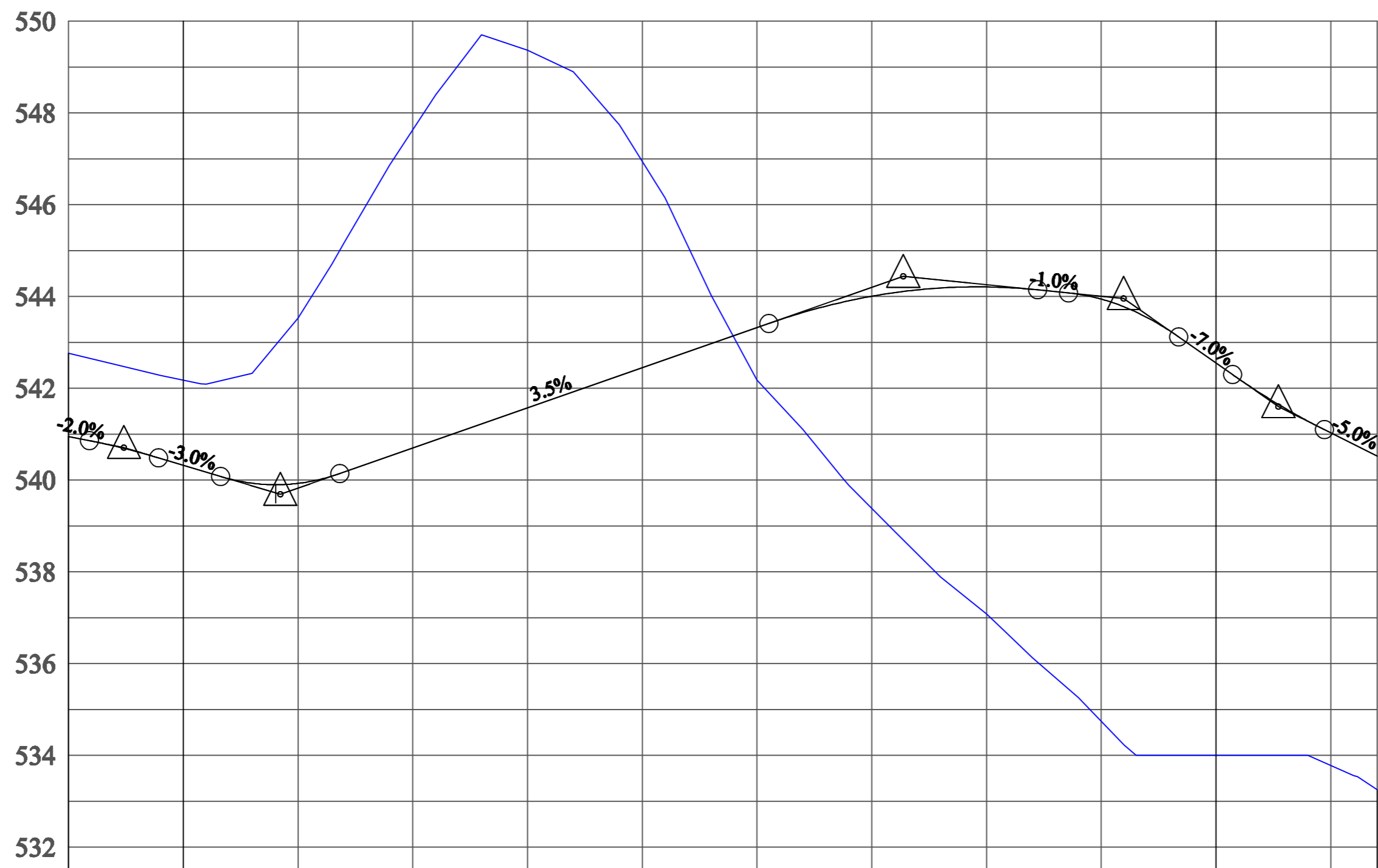


QUILOMETRAGEM	0+000	0+050	0+100	0+150	0+200
COTAS DA RASANTE	544.108	544.400	544.192	542.677	538.677
COTAS DO TERRENO	540.05	540.269	538.563	542.677	538.677
ELEMENTOS DA RASANTE	R=1500 D=40.5	R=400 D=29.2	i=-8.0% L=95.540	R=400 D=24.0	R=400 D=28.0
SOBREELEVAÇÃO	+4.96%	+3.76%	+4.0% / +6.0%	+6.0%	+2.5%
PONTOS NOTÁVEIS		0+38.571	0+84.365 0+92.876	0+188.446 0+203.340	
DIAGRAMA DE CURVAS	A=36 L=24.556		R=45.000 D=194.238		A=36 L=28.800

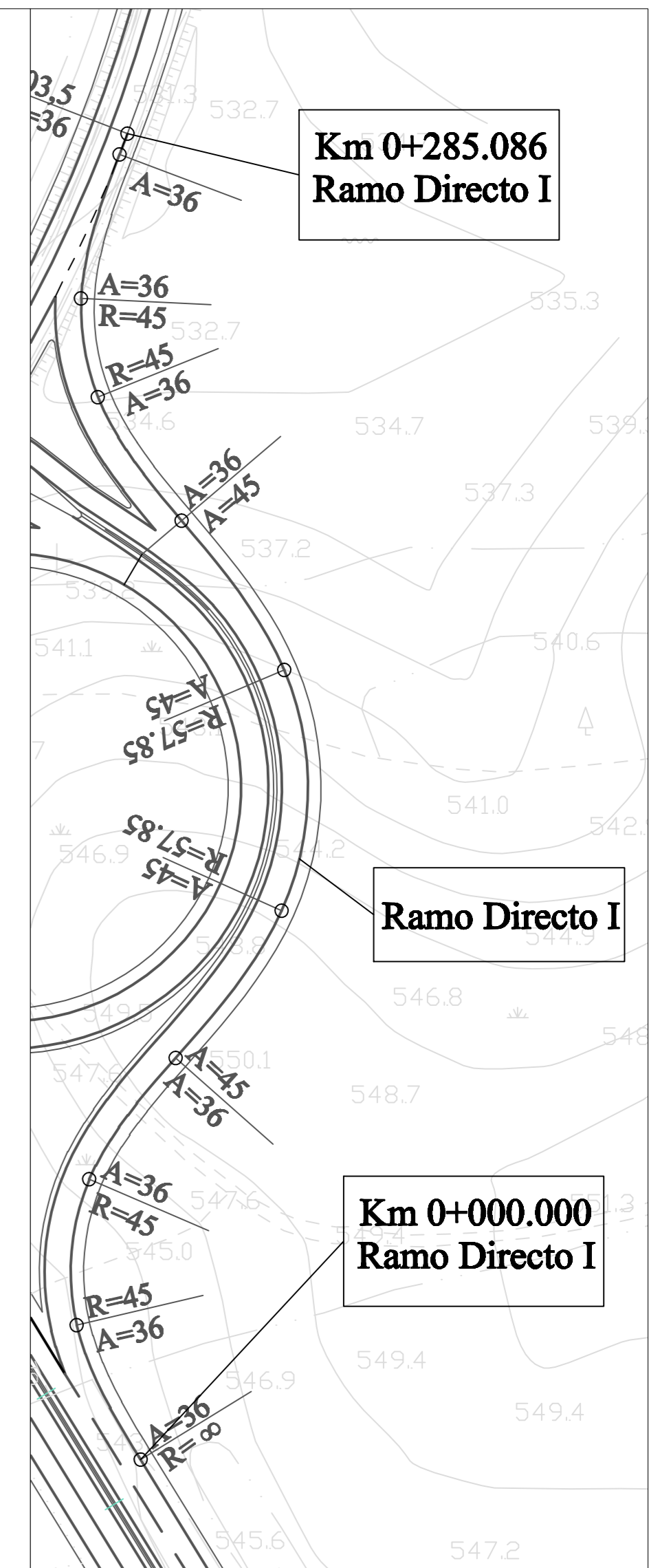


Designação: **PROJECTO DE EXECUÇÃO**
NÓ DE LIGAÇÃO EM MBIO TREVO INCOMPLETO
 PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL
 RAMO INTERIOR III

Escala Numérica:	V=1:100 H=1:1000
Escala Gráfica:	(m) 0 1 2 3 0 10 20 30
Data:	29/06/09
Folha:	01/01
Nº Desenho:	4

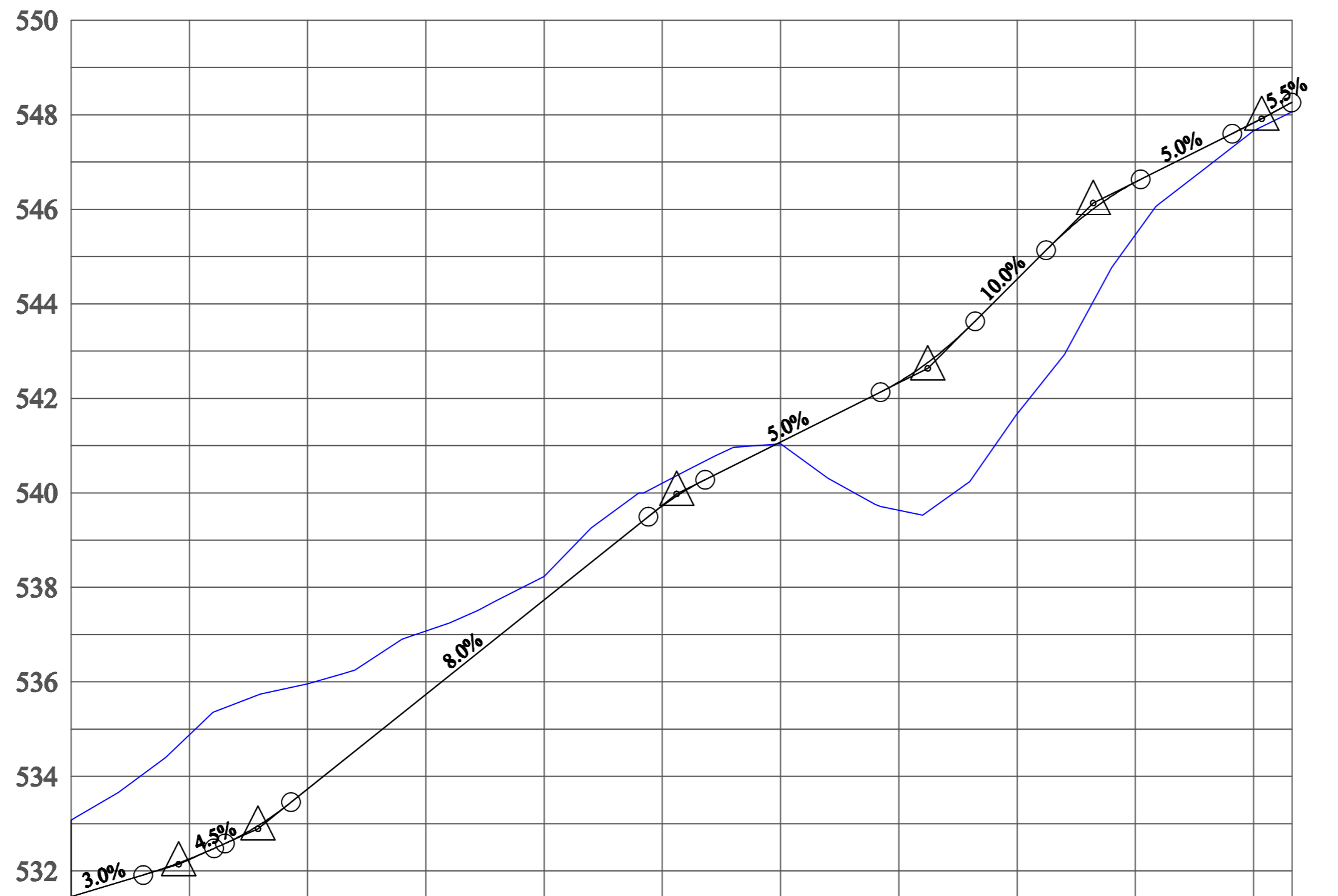


QUILOMETRAGEM		0+000	0+050	0+100	0+150	0+200	0+250
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	540.950	540.321	541.572	542.447	544.004	542.523
	COTAS DO TERRENO	542.76	540.321	539.926	540.697	543.322	544.208
PLANTA	ELEMENTOS DA RASANTE	$i = -2.5\%$ $R_v = 1500$ $D = 15.0$		$i = 3.5\%$ $L = 93.472$	$R = 45$ $D = 26.0$		$i = -5.0\%$ $L = 11.504$
	SOBREELEVAÇÃO	+2.5%		0.0%	-6.0%	-6.0%	-5.0%
	PONTOS NOTÁVEIS	0+57.392		0+86.192	0+121.196	0+168.801	0+244.529
	DIAGRAMA DE CURVAS	$A=36$ $L=28.800$		$R=45.000$ $D=28.592$	$A=36$ $L=28.800$	$A=45$ $L=35.004$	$R=57.850$ $D=47.605$

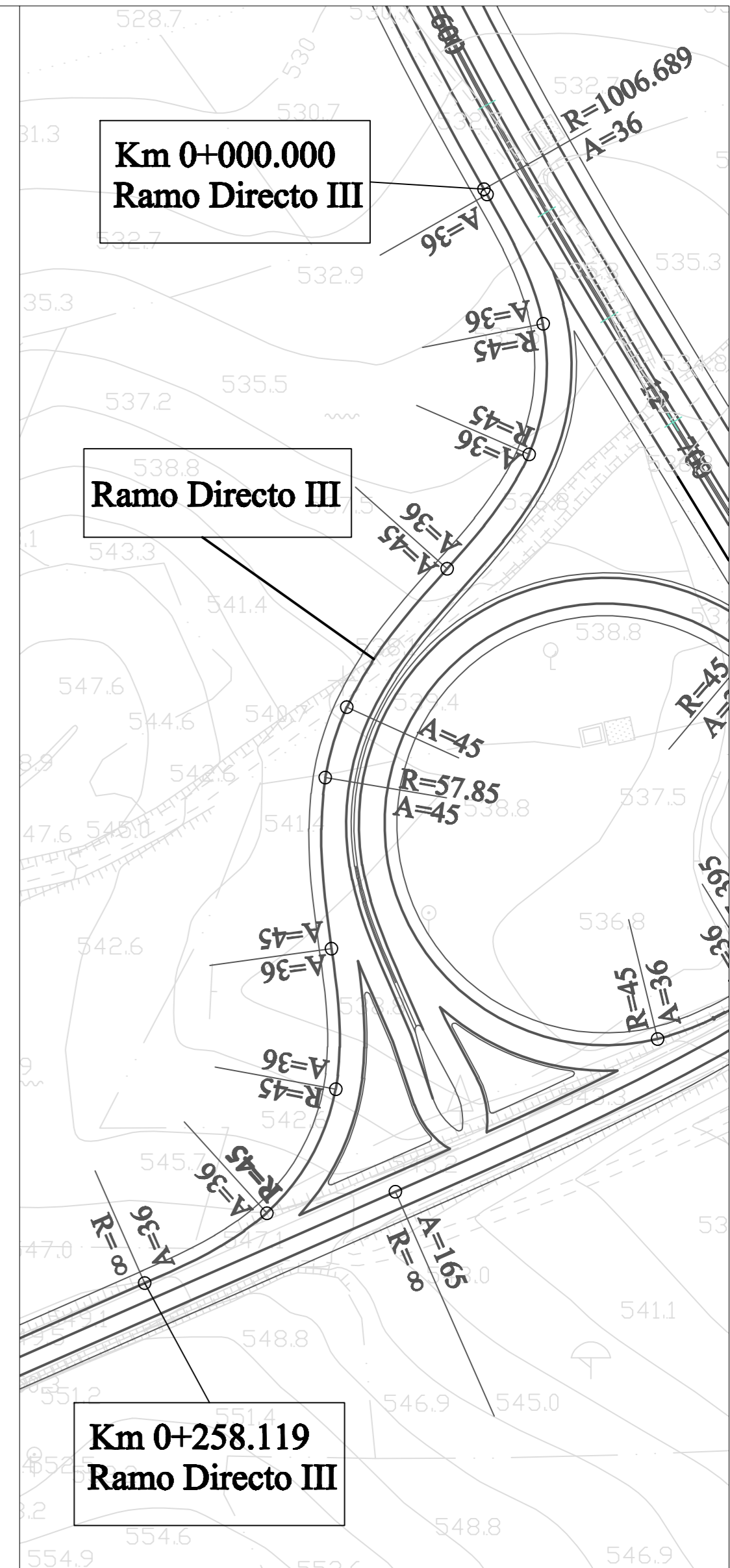


Designação: **PROJECTO DE EXECUÇÃO**
NÓ DE LIGAÇÃO EM MBIO TREVO INCOMPLETO
 PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL
 RAMO DIRECTO I

Escala Numérica: $V=1:100$
 $H=1:1000$
 Escala Gráfica: (m) 0 10 20 30
 Data: 29/06/09 Folha: 01/01 Nº Desenho: 5



QUILOMETRAGEM	0+000	0+050	0+100	0+150	0+200	0+250
COTAS DA RASANTE	531.458	532.256	533.735	537.735	542.345	547.830
COTAS DO TERRENO	533.08	534.880	535.957	537.077	539.629	547.663
ELEMENTOS DA RASANTE	i=+3.0% L=15.248 Rv=1000 D=15.0		i=+8.0% L=75.547 Rv=400 D=12.0		i=+10.0% L=14.997 Rv=400 D=20.0	
SOBREELEVAÇÃO	-6.03%	-3.33%	+2.5%	0.0%	-6.0%	-6.0%
PONTOS NOTÁVEIS		0+32.494	0+55.743	0+84.543	0+119.547	0+136.111
DIAGRAMA DE CURVAS	A=36 L=1287	A=36 L=28.800	R=45.000 D=27.165	A=36 L=28.800	A=45 L=35.004	R=57.850 D=15.052
					A=45 L=35.004	A=45 L=35.004
					A=36 L=28.800	R=45.000 D=29.407
						A=36 L=28.800



Designação: **PROJECTO DE EXECUÇÃO**
NÓ DE LIGAÇÃO EM MBIO TREVO INCOMPLETO
 PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL
 RAMO DIRECTO III

Escala Numérica: V=1:100
H=1:1000
 Escala Gráfica: (m) 0 1 2 3
0 10 20 30
 Data: 29/06/09 Folha: 01/01 Nº Desenho: 6

