

PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE

RICARDO JORGE RODRIGUES PEREIRA

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

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

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 - 2009/2010 - 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.

Aos meus Pais

*Tu que tens saber profundo
És engenheiro e vês bem
Ergue uma ponte, onde o mundo
Passe sem esmagar ninguém
António Aleixo*

AGRADECIMENTOS

A elaboração do projecto a que me propus não estaria concluído sem expressar os meus profundos agradecimentos a todos aqueles que, de uma ou outra forma, contribuíram para que este importante passo na minha formação académica pudesse ser dado.

Um especial agradecimento, por isso, ao Professor Adalberto Quelhas da Silva França, cuja orientação, mas também amizade e estímulo foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

O meu muito obrigado, também, a todos os meus colegas e amigos da FEUP, principalmente aqueles que, durante os últimos meses, me apoiaram e me incentivaram na especialização em vias de comunicação.

A minha gratidão, de igual modo, aos meus amigos Ricardo Basílio, Ricardo Guimarães e Hugo Amaro, que com as suas críticas pertinentes, ajudaram a melhorar este trabalho.

Agradeço ainda à minha namorada Carla Gonçalves, por todos os conselhos e pelo apoio arduamente prestado em toda a minha formação académica.

Por fim, o agradecimento àqueles sem os quais nada teria sido possível: aos meus pais e irmã, um grande obrigado por tudo. Um obrigado pelo apoio, incentivo, compreensão, paciência e disponibilidade, mas, principalmente, pelo carinho e amor.

RESUMO

A Presente dissertação tem como objectivo elaborar um projecto geométrico de um nó em diamante.

Para o efeito, é necessário, em primeiro lugar, conhecer melhor o conceito de “rotunda” e de “nó em diamante” – o que é feito no capítulo inicial -, apresentando-se vantagens e desvantagens da aplicação dos mesmos. Simplificadamente, descrevem-se também os restantes tipos de nó de ligação, assim como as tipologias de cruzamentos.

Na posse de todos documentos/dados fornecidos para a elaboração da corrente dissertação, foi feito o respectivo nó usando um software específico para o efeito – o Autocad Civil 3D –. Para tal, foi necessário analisar cuidadosamente os respectivos dados de forma a assegurar a correcta implantação do nó, partindo-se de seguida para o tratamento das rotundas, sendo esta a tipologia de cruzamento de nível escolhida para assegurar a ligação ramo/Estrada Secundária. Finalmente, realizou-se os quatro respectivos nós de ligação, descrevendo-se detalhadamente todas as suas propriedades tais como a directriz, rasante, sobreelevação e sobrelargura.

PALAVRAS-CHAVE: Nó em diamante, Ramos de Nó, Rotundas, Patas de diamante.

ABSTRACT

The following dissertation aims to elaborate a geometric project of a diamond interchange.

To accomplish this goal, it is first needed to get acquainted with the “roundabout” and “diamond interchange” concepts – which are explained in the first chapter -, presenting the advantages and disadvantages of both concepts. Other interchange types and crossings are also explained briefly.

The diamond interchange was planned using specific software, namely the Autocad Civil 3D, based on all the documents and data received for the dissertation. All data was thoroughly analysed to ensure a correct design of the interchange. Next step was to prepare the roundabouts designs, given it was this type of road junction the chosen one to ensure the connection branch/Secondary Road. Finally the four connection interchanges were planned, describing exhaustively all of their properties, namely the Axis horizontal profile, Axis vertical profile, overelevation and overwidth.

KEYWORD: Junction, branch node, roundabouts, legs diamond.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	1
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	3
2.1 TIPOLOGIAS DOS CRUZAMENTOS	3
2.2 ROTUNDAS	4
2.2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	4
2.2.2 DEFINIÇÃO	4
2.2.3 PRINCIPAIS VANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA	5
2.2.4 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA	5
2.2.5 TIPOLOGIAS DAS ROTUNDAS.....	6
2.2.5.1 Rotunda Normal e Rotunda Semi-galgável	6
2.2.5.2 Mini-Rotunda	7
2.2.5.3. Rotundas Desníveladas	8
2.2.5.4. Rotundas Semaforizadas	9
2.2.5.5. Outros Tipos.....	10
2.2.6 PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO	11
2.3 CRUZAMENTOS DESNIVELADOS	12
2.3.1 DEFINIÇÃO	12
2.3.2 PRINCIPAIS VANTAGENS DA SOLUÇÃO CRUZAMENTOS DESNIVELADOS.....	12
2.3.3 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO CRUZAMENTOS DESNIVELADO	12
2.3.4 APLICABILIDADE.....	12
2.3.5 DIFERENTES TIPOS DE CRUZAMENTOS DESNIVELADOS	13
2.4 NÓ DE LIGAÇÃO EM DIAMANTE	13
2.4.1 DEFINIÇÃO	13

2.4.2 PRINCIPAIS VANTAGENS DA SOLUÇÃO NÓ EM DIAMANTE	14
2.4.3 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO NÓ EM DIAMANTE	14
2.4.4 DIFERENTES TIPOS DO NÓ DE LIGAÇÃO EM DIAMANTE.....	15
2.4.4.1 Diamante Convencional	15
2.4.4.2 Diamante Desdobrado.....	16
2.4.4.3 Diamante com Ramos Cruzados.....	16
2.4.4.4 Diamante de Três Níveis	17

3. CÁLCULOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS..... 19

3.1 LOCALIZAÇÃO	19
3.2 ANÁLISE GEOMÉTRICA DA ESTRADA PRINCIPAL E SECUNDÁRIA.....	20
3.2.1 ESTRADA PRINCIPAL	20
3.2.2 ESTRADA SECUNDÁRIA.....	22
3.2.3 PONTO DE INTERSECÇÃO DAS DUAS VIAS	23
3.3 ROTUNDAS	25
3.3.1 ROTUNDA A.....	25
3.3.1.1 Planta	25
3.3.1.2 Perfil Longitudinal	28
3.3.1.3 Restabelecimentos associados à Rotunda A	31
3.3.2 ROTUNDA B.....	33
3.3.2.1 Planta	34
3.3.2.2 Perfil Longitudinal.....	35
3.3.2.3 Restabelecimentos associados à Rotunda B	37
3.4 RAMOS DE LIGAÇÃO	40
3.4.1 RAMO A	44
3.4.1.1 Directriz	45
3.4.1.2 Planta	51
3.4.1.3 Sobreelevação do Ramo de ligação.....	58
3.4.1.4 Perfil Longitudinal.....	64
3.4.2 RAMO B	70
3.4.2.1 Directriz	71
3.4.2.2 Planta	74
3.4.2.3 Sobreelevação do Ramo de Ligação.....	76

3.4.2.4 Perfil Longitudinal	79
3.4.3 RAMO C	86
3.4.3.1 Directriz	86
3.4.3.2 Planta	89
3.4.3.3 Sobreelevação do Ramo de Ligação	91
3.4.3.4 Perfil Longitudinal	94
3.4.4 RAMO D	101
3.4.4.1 Directriz	102
3.4.4.2 Planta	105
3.4.4.3 Sobreelevação do Ramo de Ligação	108
3.4.4.4 Perfil Longitudinal	112
BIBLIOGRAFIA	119
ANEXOS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos de conflito em Cruzamentos Prioritários /Rotundas	5
Figura 2 – Rotunda Normal	7
Figura 3 – Mini-Rotunda (com ilha central materializada)	7
Figura 4 – Mini-Rotunda (com ilha central pintada).....	8
Figura 5 – Rotunda Desnivelada de Grandes Dimensões	8
Figura 6 – Rotunda Desnivelada – solução com um viaduto	9
Figura 7 – Rotunda Semaforizada.....	9
Figura 8 – Rotunda Dupla	10
Figura 9 – Outros tipos de rotundas – Disposição em anel.....	11
Figura 10 – Nó de Ligação em Diamante.....	14
Figura 11 – Diamantes convencionais	15
Figura 12 – Diamantes desdobrados	16
Figura 13 – Diamantes com ramos cruzados.....	17
Figura 14 – Diamantes em três níveis.....	18
Figura 15 – Localização futura do Nó.....	19
Figura 16 – Estrada Principal	20
Figura 17 – Estrada Secundária.....	22
Figura 18 – Ponto de intersecção entre as duas vias.....	23
Figura 19 - Rotunda A.....	25
Figura 20 – Características da planta da Rotunda A.....	26
Figura 21 – Directriz da Rotunda A	26
Figura 22 – Perfil Longitudinal da Rotunda A.....	29
Figura 23 – Directriz do Restabelecimento	31
Figura 24 – Perfil Longitudinal do Restabelecimento 1	33
Figura 25 – Directriz da Rotunda B	34
Figura 26 – Perfil Longitudinal da Rotunda B.....	36
Figura 27 – Directriz do Restabelecimento 2	38
Figura 28 – Perfil Longitudinal do Restabelecimento 2	40
Figura 29 – Designação dos respectivos ramos	43
Figura 30 – “Obstáculos” no traçado do ramo A	44
Figura 31 – Ramo A contornando os obstáculos	45

Figura 32 – Primeira parte da directriz do ramo A	46
Figura 33 – Segunda parte da directriz do ramo A	48
Figura 34 – Terceira parte da directriz do ramo A	50
Figura 35 – Perfil Transversal Tipo dos ramos de ligação.....	52
Figura 36 – Sobrelargura do raio de 40,0 metros do ramo A	53
Figura 37 – Sobrelargura do raio de 60,0 metros do ramo A	54
Figura 38 – Esquema que permite deduzir as expressões da determinação do Taper.....	56
Figura 39 – Via de aceleração incluído Taper do ramo A.....	57
Figura 40 – Solução que salvaguarda a habitação do talude do aterro	57
Figura 41 – Alinhamento recto em análise do ramo A.....	58
Figura 42 – Esquema auxiliar do alinhamento recto do ramo A	59
Figura 43 – Variação da Sobreelevação do alinhamento recto do ramo A.....	59
Figura 44 – Clotóide em análise do ramo A	60
Figura 45 – Esquema auxiliar da clotóide do ramo A	60
Figura 46 – Variação da Sobreelevação na clotóide do ramo A.....	61
Figura 47 – Convergência do ramo A com a rotunda B.....	61
Figura 48 – Perfil Longitudinal da Rotunda B	62
Figura 49 – Variação da sobreelevação do alinhamento recto do Ramo A que converge com a Rotunda B	63
Figura 50 – Extracto do Ramo A em análise (raio de 60,0 m).....	63
Figura 51 – Variação da Sobreelevação na curva de 60,0 m do ramo A	64
Figura 52 – Perfil Longitudinal do Terreno do ramo A.....	65
Figura 53 – Perfil Longitudinal da rotunda B. Esquema da extracção da cota de intersecção do ramo A com a rotunda B	66
Figura 54 – Esquema auxiliar da convergência do ramo A com a estrada principal	67
Figura 55 – Perfil Transversal Tipo da Estrada Principal.....	68
Figura 56 – Esquema da determinação da sobreelevação correspondente ao ponto F	68
Figura 57 – Esquema da determinação da sobreelevação correspondente ao ponto I.....	69
Figura 58 – Perfil Longitudinal do ramo A	70
Figura 59 – Ramo B	71
Figura 60 – Directriz do ramo B.....	72
Figura 61 – Sobrelargura do raio de 45,0 metros do ramo B	74
Figura 62 – Via de abrandamento incluindo Taper do ramo B	76

Figura 63 – Intersecção da rotunda B com o ramo B	77
Figura 64 – Perfil Longitudinal da rotunda B – Intersecção com o ramo B.....	77
Figura 65 – Variação da sobrelevação do ramo B – Primeira Parte	78
Figura 66 – Variação da sobrelevação do ramo B – Segunda Parte	79
Figura 67 – Perfil Longitudinal do terreno do ramo B.....	79
Figura 68 – Esquema da determinação da cota da estrada principal correspondente ao início do ramo B.....	80
Figura 69 – Esquema auxiliar para determinação das cotas do eixo da estrada principal – Ramo B ..	80
Figura 70 – Variação da Sobrelevação da Estrada Principal – Ramo B	81
Figura 71 – Esquema auxiliar para a determinação das cotas do bordo direito da estrada principal – Ramo B	81
Figura 72 – Esquema auxiliar para a determinação das cotas do ramo B	82
Figura 73 – Perfil Longitudinal da Rotunda B – Esquema auxiliar para a extracção das cotas coincidente com o ramo B.....	83
Figura 74 – Perfil Longitudinal do Ramo B.....	84
Figura 75 – Solução em planta para a drenagem do ramo B.....	85
Figura 76 – Solução em perfil longitudinal para a drenagem do ramo B.....	85
Figura 77 – Ramo C.....	86
Figura 78 – Directriz do ramo C	87
Figura 79 – Sobrelargura do raio de 60,0 metros do ramo C	89
Figura 80 – Via de Aceleração incluído Taper do ramo C.....	91
Figura 81 – Intersecção da Rotunda A com o Ramo C.....	92
Figura 82 – Perfil Longitudinal da Rotunda A – Intersecção com o Ramo C.....	92
Figura 83 – Variação da Sobrelevação do Ramo C – Primeira Parte	93
Figura 84 – Variação da Sobrelevação do Ramo C – Segunda Parte	94
Figura 85 – Perfil Longitudinal do terreno do ramo C.....	94
Figura 86 – Perfil Longitudinal da Rotunda A - Esquema auxiliar para a extracção das cotas coincidente com o ramo C.....	95
Figura 87 - Esquema para determinação da cota da estrada principal correspondente ao fim do ramo C.....	96
Figura 88 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do eixo da estrada principal – Ramo C...	97
Figura 89 – Variação da Sobrelevação da estrada principal – Ramo C	97
Figura 90 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do bordo esquerdo da estrada principal – Ramo C	98
Figura 91 – Esquema auxiliar para a determinação das cotas do ramo C	99

Figura 92 – Perfil Longitudinal do Ramo C.....	100
Figura 93 – Solução para a drenagem do ramo C	101
Figura 94 – Ramo D	102
Figura 95 – Directriz do Ramo D	103
Figura 96 – Sobrelargura do raio de 45,0 metros do ramo D	105
Figura 97 – Esquema auxiliar para a determinação do raio da clotóide	107
Figura 98 – Esquema para a determinação do Taper do Ramo D	107
Figura 99 – Vias de abrandamento incluído Taper – Ramo D.....	108
Figura 100 – Esquema auxiliar para a determinação da sobrelevação da estrada principal.....	109
Figura 101 – Sobrelevação da Estrada Principal – Ramo D	109
Figura 102 – Intersecção da rotunda A com o ramo D	110
Figura 103 – Perfil Longitudinal da Rotunda A – Intersecção com o ramo D	110
Figura 104 – Variação da Sobrelevação do ramo D – Primeira Parte.....	111
Figura 105 – Variação da Sobrelevação do Ramo D – Segunda Parte	111
Figura 106 – Perfil Longitudinal do terreno – Ramo D	112
Figura 107 - Esquema para determinação da cota da estrada principal correspondente ao início do ramo D.....	113
Figura 108 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do eixo da estrada principal – Ramo D	114
Figura 109 – Variação da sobrelevação da Estrada Principal – Ramo D.....	114
Figura 110 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do bordo da estrada principal – Ramo D	115
Figura 111 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do ramo D.....	116
Figura 112 - Perfil Longitudinal da Rotunda A - Esquema auxiliar para a extracção das cotas coincidente com o ramo D.....	117
Figura 113 – Perfil Longitudinal do Ramo D.....	118

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação	41
Quadro 2 – Extensão mínima das curvas de transição dos ramos de ligação	41
Quadro 3 – Sobreelevação dos ramos de ligação.....	42
Quadro 4 – Transição da sobreelevação nas curvas dos ramos de ligação	43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros importantes na caracterização da directriz da Estrada Principal.....	21
Tabela 2 - Parâmetros importantes na caracterização da directriz da Estrada Secundária	23
Tabela 3 – Parâmetros da Equação da Estrada Secundária	24
Tabela 4 – Parâmetros da Equação da Estrada Principal.....	24
Tabela 5 – Coordenadas do Ponto de intersecção das duas Vias	24
Tabela 6 – Parâmetros da directriz da Rotunda A.....	28
Tabela 7 – Parâmetros da Rasante da Rotunda A.....	30
Tabela 8 – Parâmetros da Directriz do Restabelecimento 1	32
Tabela 9 – Parâmetros da Directriz da Rotunda B	35
Tabela 10 – Parâmetros da Rasante da Rotunda B.....	37
Tabela 11 – Parâmetros da Directriz do Restabelecimento 2	39
Tabela 12 – Parâmetros da primeira parte da directriz do ramo A.....	47
Tabela 13 – Parâmetros da segunda parte da directriz do ramo A	49
Tabela 14 – Parâmetros da terceira parte da directriz do ramo A.....	51
Tabela 15 – Comprimento das Vias de aceleração – NORMAS ESPANHOLAS.....	55
Tabela 16 – Parâmetros da directriz do ramo B.....	72
Tabela 17 – Comprimento da de Abrandamento – NORMAS ESPANHOLAS.....	75
Tabela 18 – Parâmetros da Directriz do ramo C	88
Tabela 19 – Comprimento da Via de Aceleração – NORMAS ESPANHOLAS	90
Tabela 20 – Parâmetros da directriz do ramo D.....	103
Tabela 21 – Comprimento da via de Abrandamento – NORMAS ESPANHOLAS	106

1

INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

À medida que as sociedades modernas se têm desenvolvido, económica e socialmente, as pessoas sentem cada vez mais cada vez mais a necessidade de se deslocarem, aumentando os requisitos de mobilidade. De um modo geral, ao conceito de mobilidade das pessoas associa-se o conceito de qualidade de vida, pois o acesso e escolha de um número cada vez maior de bens e serviços traduz-se num aumento significativo do número de viagens com os mais variados motivos.

O número crescente de deslocações que são realizadas todos os dias, tem levado a um aumento progressivo do tráfego automóvel que circula nas redes viárias. Para lhe fazer face, tem havido um desenvolvimento destas redes, quer em extensão, quer em termos das suas características geométricas. Porém, se por um lado as pessoas conseguem chegar mais facilmente aos locais onde se situam os bens e serviços, por outro o aumento do tráfego automóvel tem conduzido, nomeadamente nos aglomerados urbanos, a uma deterioração das condições de mobilidade das pessoas e mercadorias e de acessibilidade aos locais. O congestionamento, a poluição (atmosférica e sonora), o aumento do consumo de combustíveis e a sinistralidade rodoviária, são problemas cada vez maiores e que obrigam a uma melhor gestão e dimensionamento das redes viárias, bem como à adopção de novas políticas de transportes que fomentem a utilização de modos de transporte sustentáveis em detrimento do transporte individual.

O objectivo deste trabalho é o de elaborar um projecto de modo a obter a solução mais adequada para o nó em diamante, a fim de otimizar todas as solicitações presentes nas redes viárias. Devido às inúmeras possibilidades de situações com que nos deparamos nos projectos desta natureza e, por mais completas e complexas se encontrassem as normas que os regem, seria praticamente impossível atender a todas as situações, sendo de extrema importância a sensibilização para estas questões de forma a darmos respostas optimizadas aos problemas.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está fundamentalmente dividida em duas partes, na primeira, são apresentados alguns conceitos teóricos, tais como as tipologias dos cruzamentos, os diferentes tipos de nós de ligação e mais detalhadamente o nó em estudo que se caracteriza como nó em diamante. Na segunda parte descrevem-se detalhadamente todos os processos realizados, metodologias usadas e apresenta-se todas as opções admitidas, coerentemente justificadas, de forma a caracterizar correctamente o nó em estudo.

Assim, esta dissertação foi organizada em três capítulos.

No presente capítulo, o primeiro, procura-se fazer uma pequena abordagem à importância do tema em estudo, ao seu conteúdo e à sua organização.

A apresentação dos diferentes tipos de cruzamentos existentes, a diversidade dos tipos de nós de ligação e a caracterização detalhada do nó em diamante são realizados ao longo do segundo capítulo.

O terceiro capítulo consiste na apresentação e descrição de todos os elementos presentes no nó em diamante, caracterizando detalhadamente todos os parâmetros, tais como a directriz, rasante, sobreelevação e sobrelargura.

2

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 TIPOLOGIAS DOS CRUZAMENTOS

As intersecções ou cruzamentos são pontos da rede viária onde duas ou mais correntes de tráfego se cruzam, se separam ou se juntam, gerando deste modo conflitos. Estes conflitos são resolvidos e regulados de acordo com regras predefinidas e específicas de cada tipo de intersecção.

Do ponto de vista da segurança rodoviária, os cruzamentos dão também pontos sensíveis das redes viárias, já que é aí que acontecem a maioria dos acidentes envolvendo vítimas mortais e/ou feridos graves.

Relativamente à tipologia dos cruzamentos, existe um conjunto muito variado de soluções e configurações. Os tipos de cruzamentos, no que diz respeito à sua regulação, são habitualmente classificados nos seguintes grupos, dos quais os quatro primeiros correspondem a intersecções de nível:

- Cruzamentos de prioridade à direita;
- Cruzamentos prioritários;
- Rotundas;
- Cruzamentos semaforizados;
- Cruzamentos desnivelados.

Com a classificação apresentada não é difícil identificar a que grupo pertence qualquer intersecção embora haja soluções que aparentemente poderão dizer respeito a mais do que um grupo, como, por exemplo, as rotundas semaforizadas ou as rotundas desniveladas. No entanto mesmo nestes casos, os princípios gerais do seu funcionamento conduzem com facilidade à adopção de um destes grupos.

A sequência apresentada reflecte uma progressão na complexidade das soluções, bem como no seu potencial de desempenho. Serão apresentadas detalhadamente as rotundas e os cruzamentos desnivelados uma vez que são os tipos de cruzamentos estudados neste trabalho.

2.2 ROTUNDAS

2.2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

A construção de intersecções giratórias como focos de convergência radial de grandes avenidas remonta à Idade Média, muito antes do aparecimento do veículo automóvel. Nessa altura a sua adopção era meramente associada à renovação de tecidos urbanos, tendo sido frequentemente utilizadas nos planos de urbanização de algumas cidades da Europa e América do Norte e do Sul. A função de gestão da circulação apenas lhes é atribuída no início do Séc. XX, quando o arquitecto francês Hénard desenvolveu o conceito de “rotunda” associado a grandes avenidas, mediante a imposição de um sentido único de circulação em torno de uma ilha central, muitas vezes criada pela simples adaptação de bairros ou quarteirões.

A utilização da regra de prioridade à direita, de uso praticamente generalizado em todo o mundo, foi o principal motivo do abandono das rotundas, por muitos países, durante a década de 20. A sucessiva paragem dos veículos no interior da intersecção impunha grandes demoras na circulação, resultando muitas vezes no bloqueio global da rotunda. O aumento sistemático dos níveis de tráfego exigia maiores capacidades das rotundas o que com este tipo de funcionamento só era possível de obter através do aumento das zonas de entrecruzamento e, por consequência, do aumento geral da sua dimensão. Os condicionalismos de espaços existentes na generalidade das situações, obrigou à procura de soluções alternativas.

Surge assim em Inglaterra em 1967, a regra da “prioridade a quem circula na rotunda”, obrigando todos os veículos na aproximação das entradas, a cederem a prioridade aos que circulam no anel. Tal regra veio proporcionar resultados extremamente positivos quer ao nível da capacidade quer da sinistralidade estando na base de uma nova filosofia de concepção de rotundas. As soluções passam a poder ser bastantes compactas, com a capacidade de cada entrada a depender fundamentalmente da geometria da entrada, e o seu funcionamento a passar a ser comparável a uma secessão de cruzamentos em “T”. Estes resultados suscitaram o interesse de diferentes países da Europa bem como da Austrália e Nova Zelândia, os quais adoptaram o referido conceito e de imediato apostaram no desenvolvimento de diversos estudos de investigação e na elaboração de manuais de dimensionamento.

Portugal não fugiu à regra e, desde a década de 80, que as rotundas se difundem um pouco por todo o país, abrangendo actualmente quer zonas urbanas quer inter-urbanas.

2.2.2 DEFINIÇÃO

Entende-se por Intersecção Giratória (vulgarmente designada de rotunda) um ordenamento geométrico caracterizado pela convergência de diversos ramos de sentido único ou não, numa praça central de forma geralmente circular e intransponível, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação (excepto em soluções excepcionais), assumido como prioritário em relação aos fluxos de chegada.

A rotunda tem como função regular o trânsito automóvel, mas assume igualmente um contributo válido na segurança dos peões e na requalificação do meio envolvente. Constitui ainda um excelente meio para separar os troços a montante e a jusante quando um deles corresponde a zona rural e o outro a zona urbana, providenciando assim um interface reconhecível facilmente para duas tipologias diferentes de circulação. Finalmente a rotunda providencia um lugar propício à inversão de marcha sem qualquer risco e sem infringir as normas de trânsito.

2.2.3 PRINCIPAIS VANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA

As Rotundas, quando comparadas com outro tipo de cruzamento tradicional de nível, apresentam uma forma de funcionamento extremamente simples e facilmente percebido pelos condutores, mesmo que menos habituais. A obrigatoriedade de cedências de passagem impostas aos movimentos de entrada e a imposição de deflexões adequadas aos movimentos de atravessamento, contribuem significativamente para a redução e homogeneização dos espectros de velocidade dos diferentes utentes.

O tipo de regulação vigente induz à prática de conduções cordiais e harmoniosas às quais estão associadas baixas taxas de sinistralidades e quase inexistência de acidentes com mortalidade.

Em países como a Inglaterra ou Austrália, a transformação de um cruzamento prioritário numa rotunda, traduziu-se numa redução de 40 a 60 por cento na frequência dos acidentes e em mais de 95 por cento nos acidentes com vítimas mortais.

As Rotundas têm muitas vantagens face a cruzamentos prioritários, uma vez que para além de diminuírem a gravidade dos acidentes, pois os embates dão-se a velocidades mais baixas e são do tipo lateral-lateral (ou próximas disso), existe também uma significativa redução dos pontos críticos (pontos onde normalmente ocorrem acidentes), comparativamente aos cruzamentos prioritários, devendo-se este facto fundamentalmente à organização dos fluxos de tráfego num sentido único de circulação.

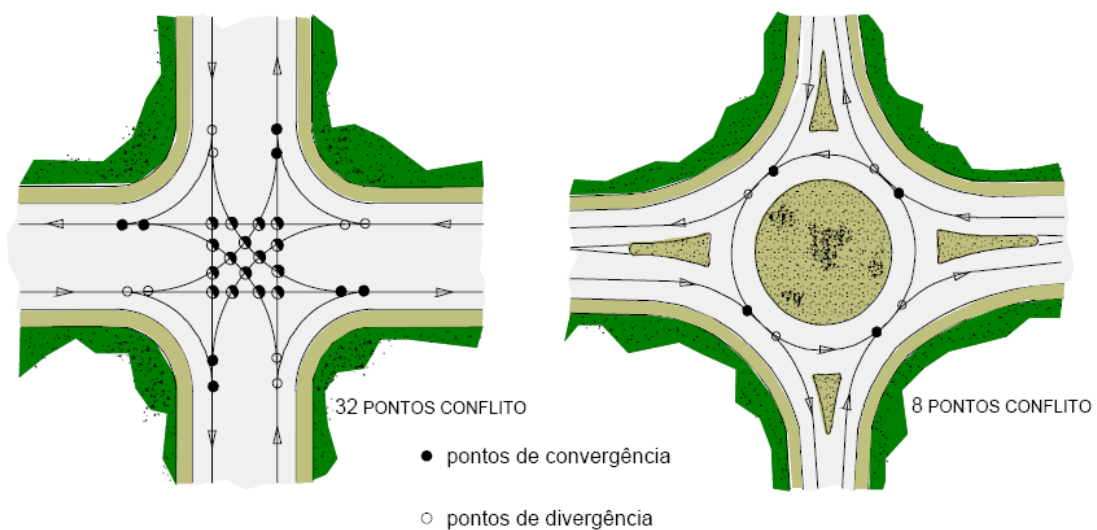


Figura 1 – Pontos de conflito em Cruzamentos Prioritários /Rotundas

2.2.4 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA

Apesar da sua flexibilidade e vasto domínio de aplicação, as rotundas não podem ser encaradas como soluções de uso generalizado. Com efeito, a sua adaptação às condições de circulação pode exigir uma considerável ocupação de espaço, nem sempre fácil de disponibilizar em zonas de ocupação consolidada.

A Rotunda não permite estabelecer hierarquias viárias, pelo que não permite favorecer um determinado movimento direccional ou modo de transporte, tais como os transportes públicos ou veículos prioritários. A sua utilização como estratégia dissuasora a um determinado itinerário pode não ser a medida mais eficaz, nomeadamente quando comparada com os sistemas semafóricos que permitem ajustar tempos de espera e atrasos às condições reais de circulação. Contudo e pelos atrasos que lhe são inerentes, a sua inserção sequencial em itinerários onde se pretenda promover a rapidez e conforto de atravessamento é igualmente desaconselhável.

Quando inseridas em eixos coordenados por sistemas activos de regulação, constituem um ponto de rotunda sistema impossível de controlar, pondo em causa a estratégia de coordenação de todo o sistema. Da mesma forma, os sistemas urbanos de gestão integrada exigem um controlo activo dos fluxos de entrada, através da aproximação em tempo real dos espectros de oferta aos da procura, pelo que a inclusão de uma rotunda no sistema com funcionamento passivo, poderá comprometer toda a estratégia de regulação.

2.2.5 TIPOLOGIAS DAS ROTUNDAS

Nesta secção são apresentados os diferentes tipos de rotundas com aplicabilidade em Portugal, descrevendo simplificadaamente as principais características geométricas.

2.2.5.1 ROTUNDA NORMAL E ROTUNDA SEMI-GALGÁVEL

A rotunda normal corresponde à maioria das rotundas inseridas nas redes rodoviárias e são caracterizadas pela existência de uma ilha central com diâmetros igual ou superior a 4,0 metros e de diâmetro do círculo inscrito (DCI) superiores a 28,0 metros. Podem dispor de uma ou mais vias de circulação. A ilha central apresenta geralmente uma forma circular, embora sejam igualmente aceitáveis formas ovais simplesmente alongadas ou elipsoidais de pequena excentricidade. A sua concepção geométrica deve reger-se por princípios de dimensionamento que permitam a circulação de todo o tipo de veículos sem galgamento ou transposição de ilha central.

Por razões de segurança, é desejável a adopção de soluções que não incentivem a prática de elevadas velocidades de circulação, nomeadamente através de um traçado adequado das entradas e pela eliminação de sobrelarguras desnecessárias nas entradas e no anel de circulação.

Em alternativa e em especial para geometrias com DCI compreendidos entre 28 e 36/40m, e perante fluxos de pesados pouco significativos, a adopção das designadas rotundas *semi-galgáveis* pode revelar-se bastante eficaz na garantia de maiores deflexões para os veículos de menores dimensões, ao mesmo tempo que se garantem as condições de manobrabilidade dos veículos pesados de grande dimensão. Para o efeito a ilha central poderá ser contornada por uma faixa galgável, revestida por material de cor diferente e textura preferencialmente irregular (exemplo calhau rolado, ou cubos de granito) por forma a tornar-se suficientemente desincentivadora à circulação dos veículos ligeiros, mas adequada aos veículos pesados.

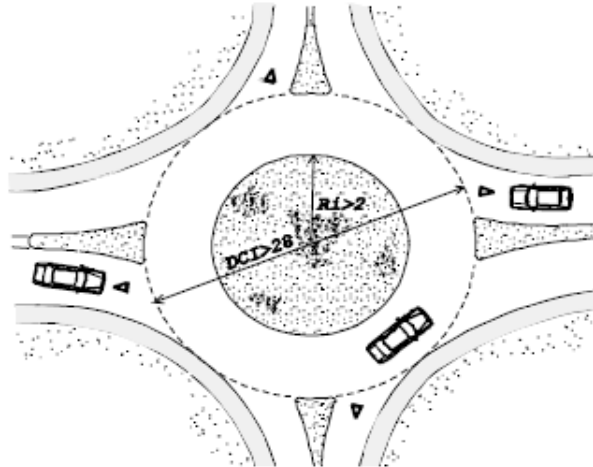


Figura 2 – Rotunda Normal

2.2.5.2 MINI-ROTUNDA

É caracterizada pela existência de uma ilha central galgável, com diâmetro inferior a 4m e por diâmetros do círculo inscrito compreendidos entre 14 e 28m.

A ilha central pode ser materializada em relação ao anel de circulação ou simplesmente demarcada no pavimento e totalmente recoberta por tinta branca reflectora ou ainda pela demarcação de anéis concêntricos.

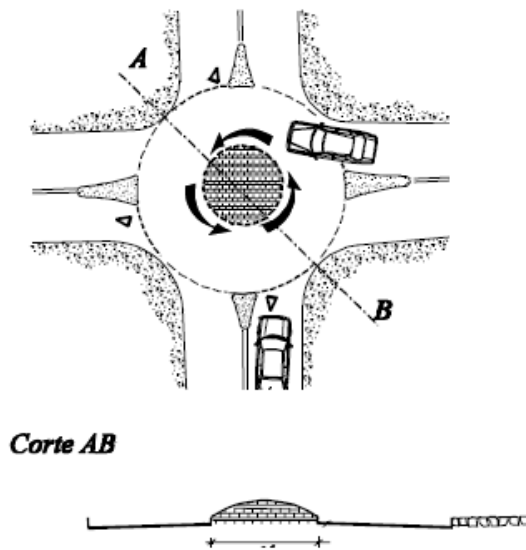


Figura 3 – Mini-Rotunda (com ilha central materializada)

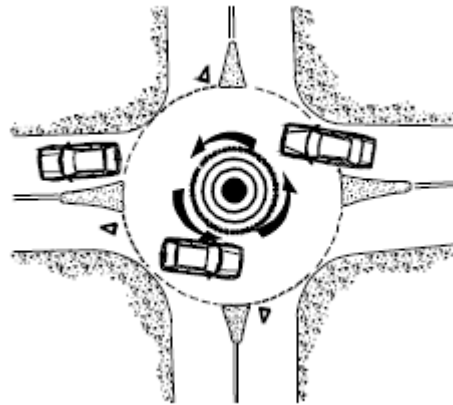


Figura 4 – Mini-Rotunda (com ilha central pintada)

2.2.5.3. ROTUNDAS DESNIVELADAS

Consistem em soluções desniveladas às quais são associadas uma ou mais rotundas para as quais são canalizados os movimentos da via secundária e de mudança de direcção. As formas geométricas mais comuns caracterizam-se pela existência de um atravessamento desnivelado conjugado ou com uma *rotunda de grandes dimensões* (Figura 5) ou com *duas rotundas compactas interligadas por um viaduto central* (Figura 6). O seu desempenho depende do funcionamento global da intersecção, pelo que deverão ser tomados cuidados acrescidos ao nível da capacidade quer da rotunda quer dos ramos de acesso, procurando evitar-se que a formação de eventuais filas de espera nas entradas da rotunda origine o bloqueio de alguma saída e conseqüentemente da via prioritária.

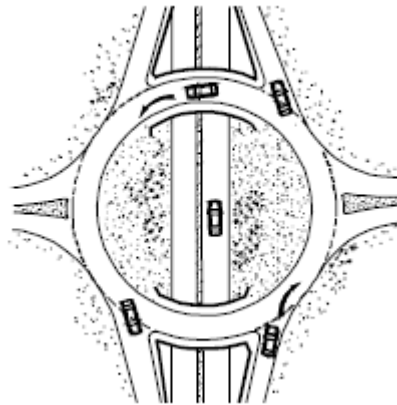


Figura 5 – Rotunda Desnivelada de Grandes Dimensões

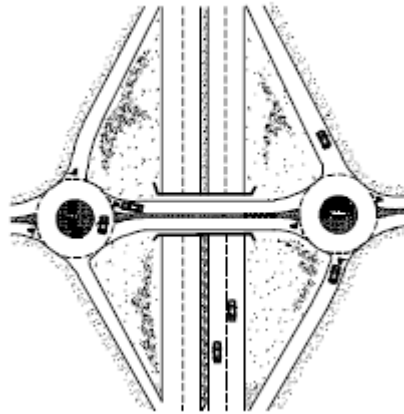


Figura 6 – Rotunda Desnivelada – solução com um viaduto

2.2.5.4. ROTUNDAS SEMAFORIZADAS

Problemas derivados do desequilíbrio dos fluxos afluentes nos diferentes ramos, ou mesmo de crescimentos imprevisíveis de um determinado movimento direccional poderão ser resolvidos por recurso a sistemas semafóricos. O sistema poderá controlar todos ou apenas alguns dos ramos afluentes, e poderá ser permanentemente activado ou operativo em apenas alguns períodos do dia.

Por definição, um cruzamento regulado por um sistema semaforizado, mesmo que a sua forma geométrica se assemelhe a uma rotunda, não deve ser considerado como tal. No entanto, os diferentes princípios de dimensionamento, sob os quais se rege a concepção de uma rotunda de forma tradicional ou um cruzamento semaforizado, justificam que no caso de rotundas com funcionamento semaforizado não permanente se proceda a uma indispensável compatibilização desses princípios, para ambos os modos de funcionamento.

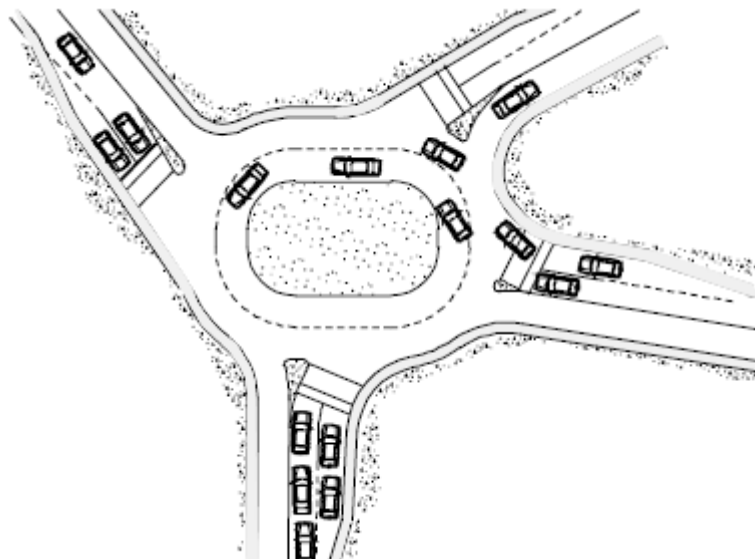


Figura 7 – Rotunda Semaforizada

2.2.5.5. OUTROS TIPOS

Para além dos tipos de rotundas anteriormente apresentadas existe ainda uma vasta gama de cruzamentos de nível, onde a rotunda é utilizada como um elemento de ordenamento parcial.

Apresentam em geral geometrias complexas e invulgares, pelo que a sua utilização deve ser cautelosa, nomeadamente em países onde a adopção das intersecções giratórias com fins rodoviários é recente, como é o caso de Portugal.

A rotunda dupla (Figura 8) é um dos exemplos mais aplicados, nomeadamente em Inglaterra, e são caracterizadas pela construção de duas rotundas compactas contíguas ou interligadas por um separador central de reduzidas dimensões. Resultam numa eficiente ocupação de espaço, assegurando níveis de segurança e de capacidade razoáveis. Este tipo de ordenamento impõe alterações ao modo de funcionamento global da intersecção, resultando num aumento de capacidades para algumas entradas e em acréscimos dos atrasos para determinados movimentos direccionais.

Outros tipos de rotundas (ver por exemplo Figura 9) são ainda apresentados na bibliografia estrangeira, sendo de uma forma geral, caracterizados por grande complexidade e invulgaridade e portanto com domínios de aplicabilidade ainda mais restritos.

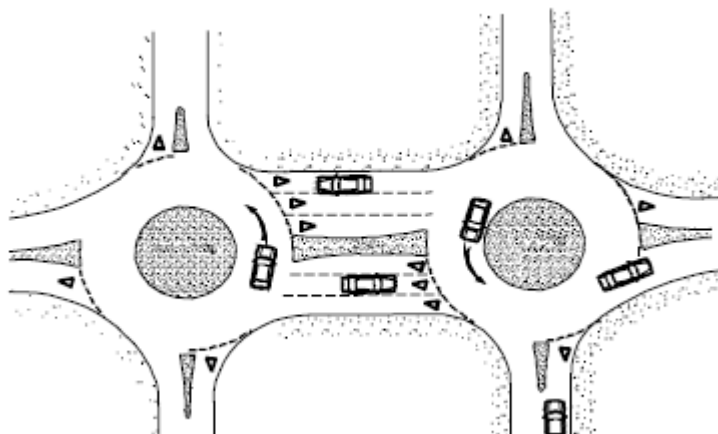


Figura 8 – Rotunda Dupla

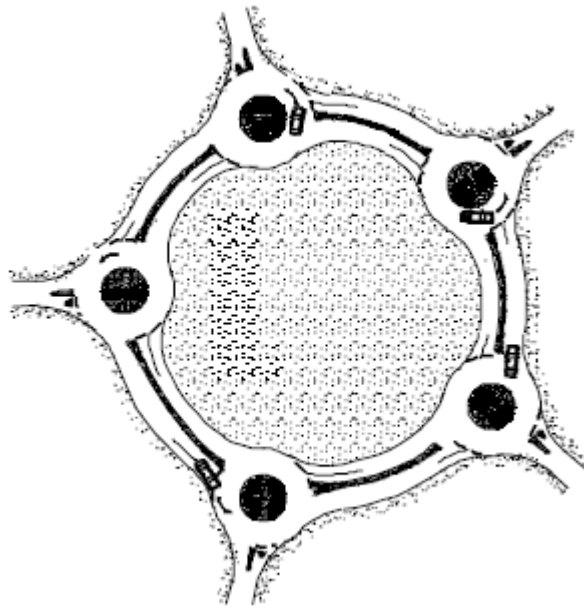


Figura 9 – Outros tipos de rotundas – Disposição em anel

2.2.6 PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO

Todo o ordenamento geométrico deverá ser atempadamente perceptível e facilmente legível por qualquer condutor, induzindo-o a deflectir a sua trajectória e a optar por variações de velocidade e de comportamento compatíveis com a geometria da intersecção. Esta condição resulta geralmente na necessidade de adoptar geometrias simples, o mais normalizadas possível e concordantes com as naturais expectativas dos condutores (critério da “*legibilidade*”).

É ainda consensual seguir uma filosofia de concepção geométrica concordante com o princípio de “*dificultar as entradas e facilitar as saídas*”, isto é, que penalize as velocidades de circulação à entrada e garanta uma fácil e rápida saída dos veículos do interior da rotonda.

A integração de rotundas ou mini-rotundas em ordenamentos específicos como técnicas de acalmia de tráfego poderão também resultar em soluções eficientes do ponto de vista da circulação e segurança rodoviária, contribuindo significativamente para a amenidade de circulação e promovendo eventualmente a compatibilização da utilização do espaço público pelos diferentes modos de transporte e utilizadores da via pública (critério da “*segurança e amenidade de circulação*”). Refira-se que estes tipos de medidas se têm revelado extremamente úteis em reordenamentos de zonas onde esta compatibilização é normalmente desejável, nomeadamente em zonas residenciais, centrais ou em atravessamentos de povoações.

Por outro lado, o desempenho de qualquer intersecção depende do seu modo de funcionamento global, pelo que qualquer concepção geométrica deve ser devidamente adaptada às condições de circulação locais, resultando assim em soluções fluidas e capazes de canalizar os diferentes movimentos direccionais (critério da “*maximização da capacidade*”).

Este último critério de concepção é por vezes difícil de compatibilizar com o critério da “*segurança*”, determinando frequentemente tendências contrárias de dimensionamento. Contudo, considera-se indispensável que qualquer ordenamento geométrico assegure o critério da “*legibilidade*”,

dependendo a valorização diferenciada dos outros dois critérios de diversos factores, nomeadamente do local de inserção.

Em zonas inter-urbanas, pela habitual disponibilidade de espaço, prevalece frequentemente o critério da garantia dos níveis do conforto de condução e segurança rodoviária, sem se tornarem relevantes as questões de capacidade. Nestas zonas e desde que salvaguardadas as condições desejáveis de circulação, a adopção de geometrias bem delineadas que induzam os condutores a, de uma forma natural, alterarem o seu comportamento e a reduzirem a velocidade, torna-se assim determinante. A conveniente localização da ilha central e dos ilhéus deflectores ou mesmo a utilização de conjugações de curvas durante a aproximação que imponham adequadas deflexões dos movimentos poderão contribuir igualmente para a amenidade de circulação.

A maximização da capacidade como critério de dimensionamento prevalece normalmente em zonas urbanas, nomeadamente em locais onde o ambiente envolvente já convida naturalmente o condutor a moderar a velocidade de circulação e onde a necessidade de responder a elevados níveis de procura, particularmente nos picos horários, se assume como relevante.

2.3 CRUZAMENTOS DESNIVELADOS

2.3.1 DEFINIÇÃO

Os cruzamentos desnivelados (ou nós de ligação) são constituídos por um conjunto de ramos que asseguram a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes (JAE P6/90).

2.3.2 PRINCIPAIS VANTAGENS DA SOLUÇÃO CRUZAMENTOS DESNIVELADOS

Estas soluções caracterizam-se pela eliminação total ou parcial dos conflitos que envolvem cruzamento de eixos viários, através da segregação espacial desses eixos, sendo que os pontos de conflito gerados pelo atravessamento das correntes de tráfego são sempre eliminados.

É um tipo de solução capaz de apresentar níveis muito elevados de capacidade, fluidez e rapidez de tráfego. Geralmente apresentam baixos níveis de sinistralidade.

2.3.3 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO CRUZAMENTOS DESNIVELADO

São soluções muito dispendiosas pois requerem muito espaço para a sua implantação e envolvem a construção de obras de arte.

2.3.4 APLICABILIDADE

Dependendo do tipo de desnivelamento adoptado, parcial ou total, é uma tipologia que pode ser aplicada quer em situações em que as vias têm uma importância semelhante quer em situações em que um dos eixos viários é dominante. Sempre que um dos eixos é uma auto-estrada ou estrada com características semelhantes (particularmente os Itinerários Principais) é necessário recorrer a este tipo de cruzamento.

Considerando as características apresentadas, trata-se pois de uma solução que se deve aplicar apenas nos casos em que os níveis de tráfego em conflito ou as necessidades de fluidez do tráfego forem muito elevados ou então em locais onde a orografia seja bastante favorável.

2.3.5 DIFERENTES TIPOS DE CRUZAMENTOS DESNIVELADOS

Em termos de configuração geométrica, existe um vasto conjunto de soluções, pelo que apenas serão apresentadas as principais soluções-tipo. Assim, e em função do número de ramos da intersecção é possível ter os seguintes tipos de cruzamentos desnivelados:

- 3 ramos:
 - Trompete;
 - Rotunda desnivelada.

- 4 ramos:
 - Diamante;
 - Rotunda desnivelada;
 - Meio-Trevo incompleto ou completo;
 - Trevo completo.

De referir que os nós de ligação em diamante, meio-trevo e rotundas desniveladas implicam a existência de intersecções de nível na estrada secundária, que podem ser cruzamentos prioritários (diamante e meio-trevo) ou rotundas (rotundas desniveladas), cruzamentos esses que se destinam à regulação do tráfego que entra e sai dessa estrada. No caso dos cruzamentos em trompete e trevo completo, a saída e entrada dos veículos nos ramos é executada por intermédio de vias de aceleração e de desaceleração.

2.4 NÓ DE LIGAÇÃO EM DIAMANTE

2.4.1 DEFINIÇÃO

Caracteriza-se pela existência de 4 ramos directos, um em cada quadrante, que asseguram todos os movimentos de viragem (Figura 10). A existência de dois movimentos de viragem que utilizam o mesmo ramo obriga à existência de intersecções de nível junto à estrada secundária.

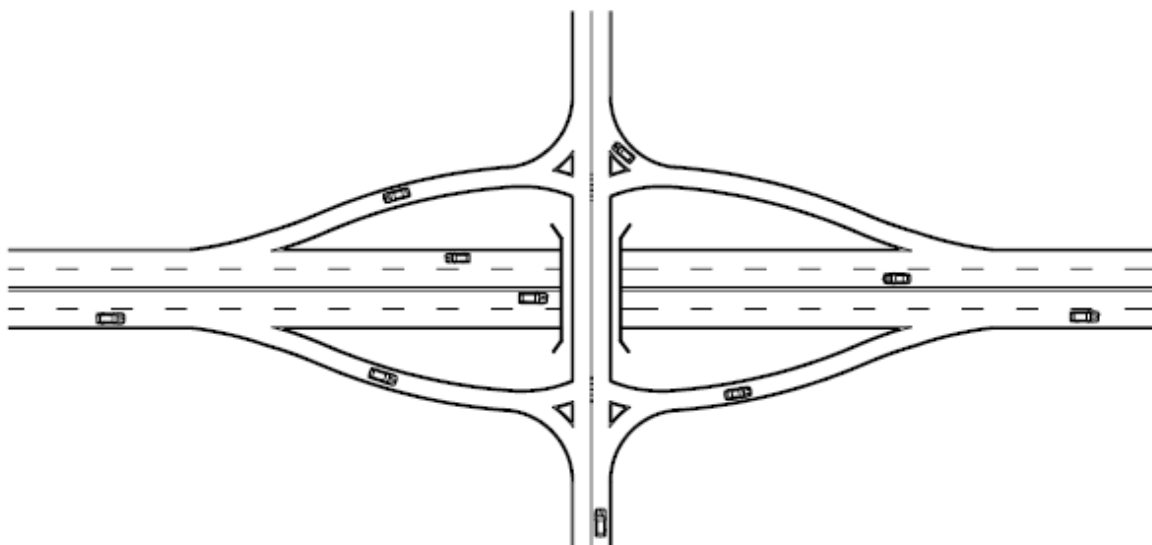


Figura 10 – Nó de Ligação em Diamante

Essas intersecções de nível podem ser intersecções prioritárias, semaforizadas ou rotundas. No caso de serem rotundas deixa de se designar de nó em diamante e passa a designar-se de rotunda dupla interligada por um viaduto.

Apenas devem ser utilizados em “nós de acesso” onde a estrada secundária não faz parte da Rede Rodoviária Fundamental nem constitui um Itinerário Complementar, e portanto, não há necessidade de evitar sobre ela cruzamentos de nível.

2.4.2 PRINCIPAIS VANTAGENS DA SOLUÇÃO NÓ EM DIAMANTE

É um tipo de nó de ligação cuja configuração é bastante simples e de fácil compreensão para os condutores.

Não necessitam de loop's, o que se traduz numa economia muito significativa de espaço e de dimensões da obra de arte, visto os seus ramos não garante interferirem com ela

Devido à sua forma física garante a ausência de entrecruzamentos na estrada principal.

É possível alargar o nó tipo diamante afastando a intersecção dos ramos com a secundária da obra de arte permitindo assim que as rampas sejam mais suaves, maior capacidade de armazenamento nas vias de viragem à esquerda, e flexibilidade, existindo espaço livre no interior para futura construção de ramos de ligação interiores caso seja necessário.

2.4.3 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO NÓ EM DIAMANTE

Este tipo de nó tem o inconveniente de favorecer manobras erradas dos usuários da estrada secundária, tais como a entrada em contra mão nos ramos de saída da estrada principal. Para o evitar é possível a construção de faixas de rodagem unidireccionais na estrada secundária, ou prever rotundas nos locais de acesso dos ramos à Secundária.

A capacidade está usualmente limitada à capacidade da intersecção na estrada secundária, sendo possível o aumento desta capacidade através do alargamento do ramo para duas vias ou mais, a fim de proporcionar via própria para viragem à esquerda no ramo para a secundária, ou mesmo aumentar o número de vias da secundária ou auxilia-la com vias de aceleração e vias de viragem à esquerda com capacidade de “stockagem” de veículos.

As intersecções de nível junto à estrada secundária são geradoras de muitos pontos de conflito, podendo originar acidentes ou atrasos, reduzindo a sua capacidade. Estes problemas são razoavelmente resolvidos com aplicação de intersecção do tipo rotunda ou semaforizadas, diminuindo assim os respectivos pontos de conflito.

2.4.4 DIFERENTES TIPOS DO NÓ DE LIGAÇÃO EM DIAMANTE

O nó de ligação em Diamante pode ser dividido em quatro grupos: diamante convencional, diamante desdobrado, diamante com ramos cruzados e diamante em três níveis. As características de cada um desses grupos são apresentadas a seguir.

2.4.4.1 DIAMANTE CONVENCIONAL

Consiste, essencialmente, numa Estrada Principal e uma Estrada Secundária, quatro ramos unidireccionais diagonais ou paralelos, com terminais de saída e entrada de alta velocidade na Estrada Principal, e terminais de nível na via secundária (Figura 11).

A intersecção em diamante com ramos de ligação mais afastados da estrutura (diamante aberto) adapta-se aos casos em que a rasante de Estrada Secundária necessita de ser alterada, a fim de passar em cima ou em baixo da Estrada Principal. Nesta configuração é mais fácil conseguir maior distância de visibilidade e menor inclinação transversal nos terminais. Este tipo de diamante exige maior área de implantação, mas tem a vantagem de permitir rasantes com menores rampas/declives e oferecer maior facilidade na construção de futuros ramos, caso sejam necessários.

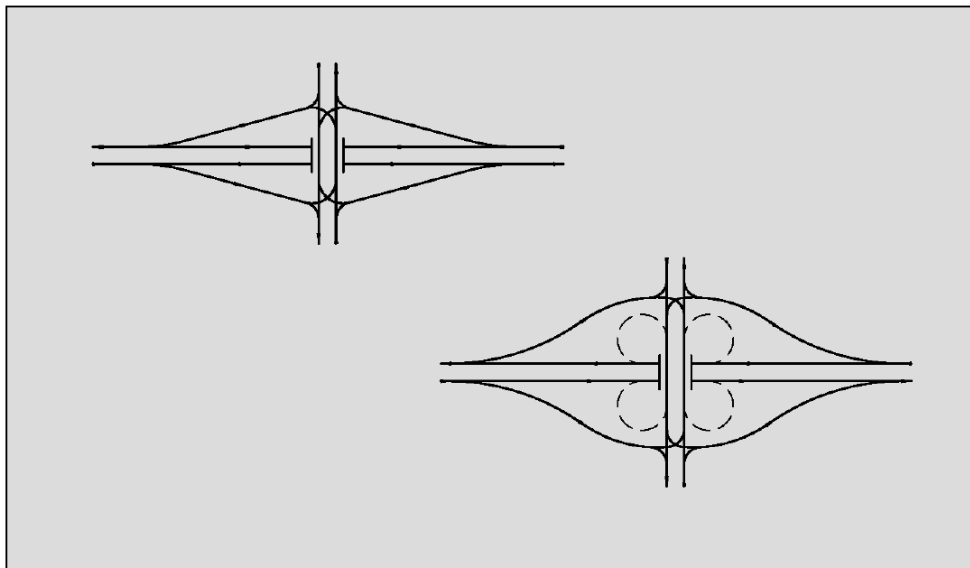


Figura 11 – Diamantes convencionais

Não existe regras fixas para a determinação adequada da abertura de uma intersecção em diamante. A abertura é em geral determinada pelos requisitos de armazenagem para viragem à esquerda na Estrada Secundária

. 2.4.4.2 DIAMANTE DESDOBRADO

Em vez de uma Estrada Secundária bidireccional, tem-se um par de transversais adjacentes unidireccionais ou bidireccionais. A simplicidade do *lay-out* resulta em movimentos espontâneos para todos os fluxos de tráfego e reduz do número de conflitos. Este tipo proporciona maior capacidade do que o diamante convencional (Figura 12).

Como no caso do diamante convencional, o tipo desdobrado pode ser aumentada a sua capacidade com a projecção de uma faixa exclusiva de viragem à direita.

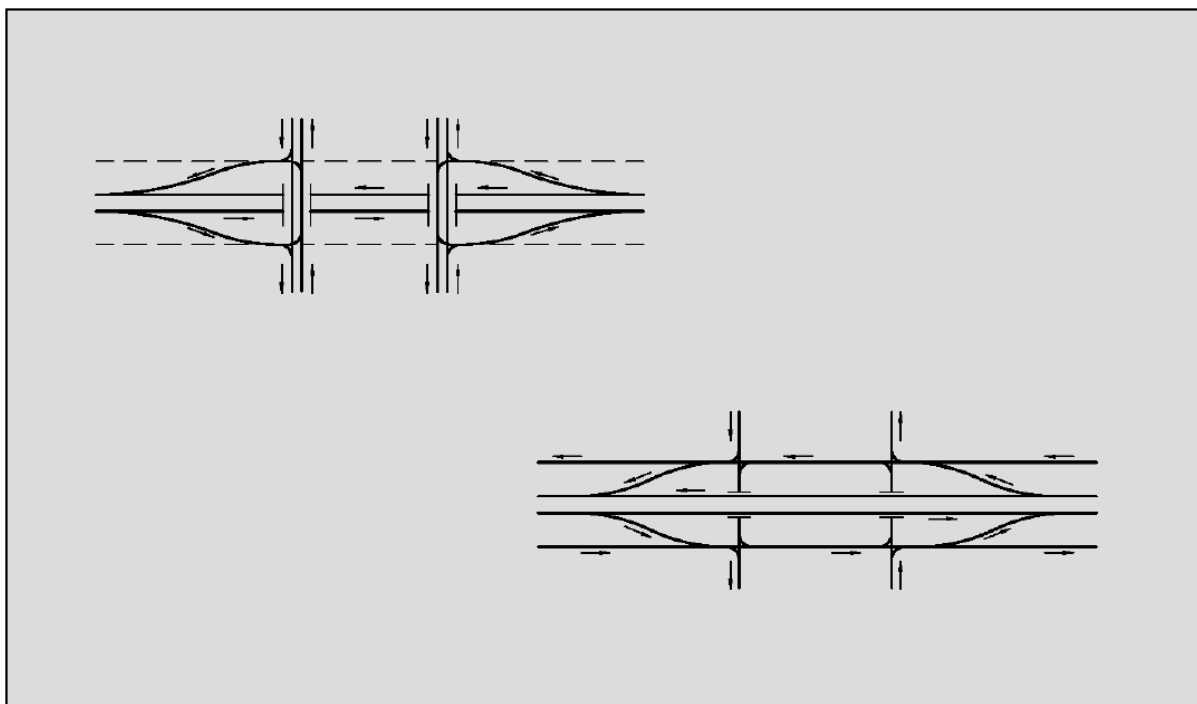


Figura 12 – Diamantes desdobrados

. 2.4.4.3 DIAMANTE COM RAMOS CRUZADOS

Em casos especiais, em regiões urbanas, quando é necessário interligar uma Estrada Principal a duas Estradas Secundárias paralelas muito próximas, pode-se recorrer ao tipo de configuração ilustrado na Figura 13.

A configuração do ramo cruzado elimina o entrecruzamento entre duas intersecções muito próximas. Tem a vantagem adicional de possuir o ramal de entrada seguindo imediatamente o de saída, de forma que os veículos que entram podem utilizar dos intervalos criados pelos veículos que saem da rodovia. O espaçamento das rodovias que cruzam a Estrada Principal é determinado pelas necessidades da rasante e pelas vias de aceleração e de desaceleração. O alinhamento vertical dos ramos cruzados pode

criar problemas de projecto, a menos que a topografia seja de natureza favorável. Como são necessários dois cruzamentos em níveis diferentes nos ramos em “X”, pode apresentar custos elevados, uma vez que as obras-de-arte normalmente requerem vãos superiores a 30 metros. Não é vulgar o seu uso em Portugal.

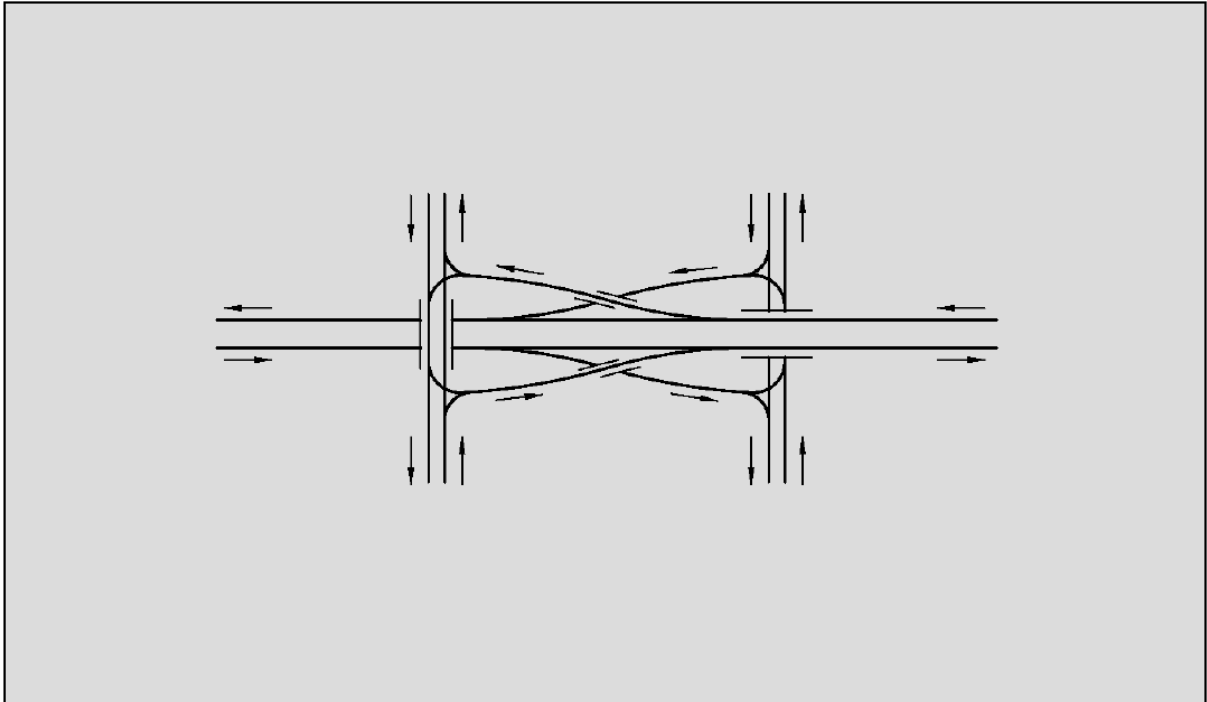


Figura 13 – Diamantes com ramos cruzados

. 2.4.4.4 DIAMANTE DE TRÊS NÍVEIS

Esta configuração é apropriada para a intersecção de duas Estradas Principais, já que fornece fluxos livres de tráfego directo em ambas as vias. Requer menor área que outros tipos de intersecção com a mesma capacidade, e pode ainda ser aumentada com a projecção de faixas especiais de viragem à direita. Grandes áreas geradoras de tráfego nas vizinhanças podem criar substancial quantidade de movimentos de retorno, tornando necessário o emprego de faixas separadoras para atendê-los. A Figura 14 ilustra um nó de ligação em diamante de três níveis entre duas Estradas Principais, com vias colectoras-distribuidoras. Este tipo de nó é de todo inaplicado em Portugal, pelo menos até ao presente.

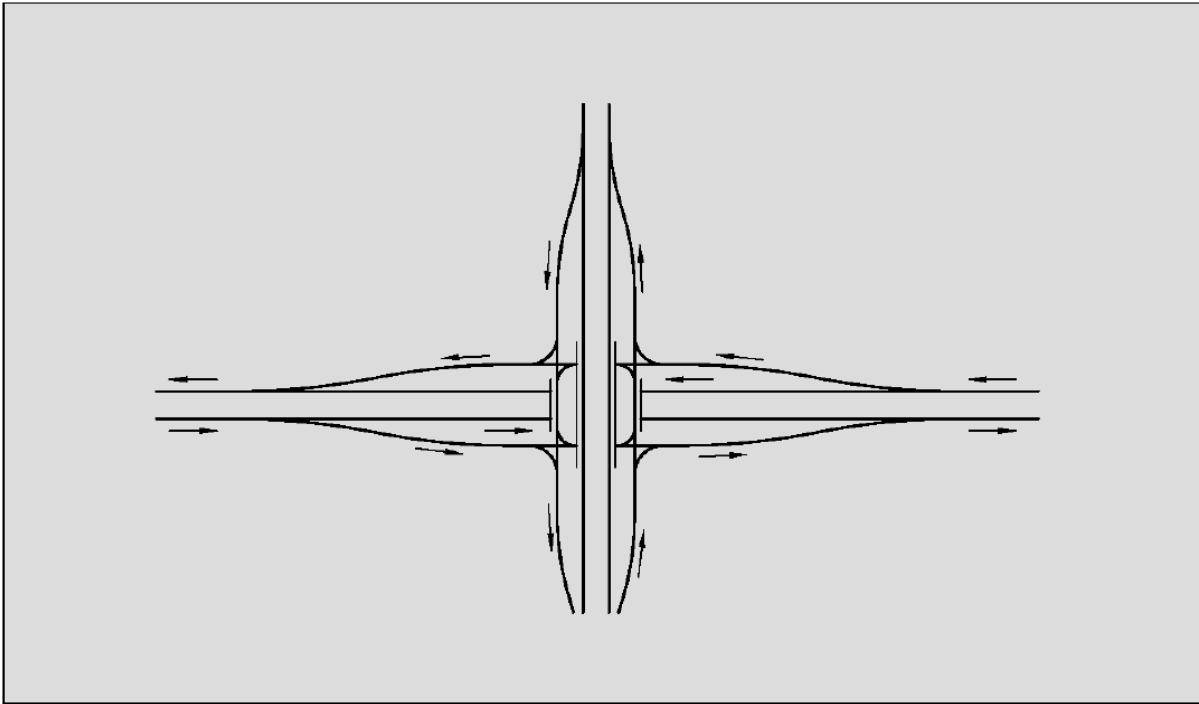


Figura 14 – Diamantes em três níveis

3

CÁLCULOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 LOCALIZAÇÃO

Na fase inicial de um projecto desta natureza, é de extrema importância estabelecer a sua localização.

Só após esta etapa é possível proceder à correcta análise e dimensionamento do nó em questão. Obviamente, e como em qualquer projecto de engenharia civil, poderão existir alterações parciais ou totais justificadas por uma melhor solução final. Geralmente estas alterações executam-se com o normal decorrer do projecto.

Neste trabalho em concreto, a localização do nó é em função dos dados fornecidos, procurando-se estabelecer uma solução que melhor se ajuste à situação exposta.

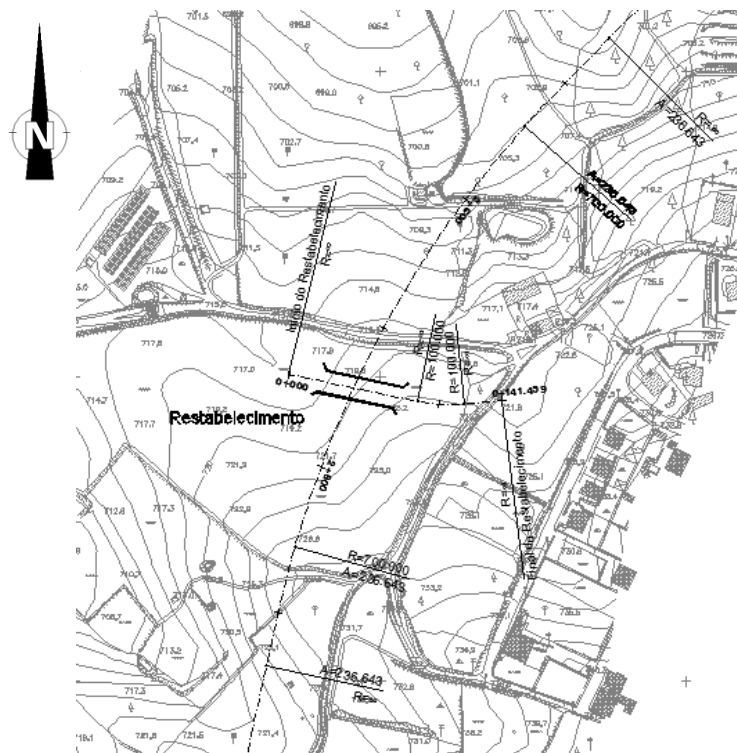


Figura 15 – Localização futura do Nó

3.2 ANÁLISE GEOMÉTRICA DA ESTRADA PRINCIPAL E SECUNDÁRIA

Independentemente da natureza dos trabalhos, o procedimento inicial a realizar antes de quaisquer tomada de decisões é a consulta e análise dos dados fornecidos de forma a extrair informações úteis para o correcto desenvolvimento do trabalho encontrando assim soluções cómodas, seguras e económicas de modo a satisfazer os seus utilizadores.

3.2.1 ESTRADA PRINCIPAL

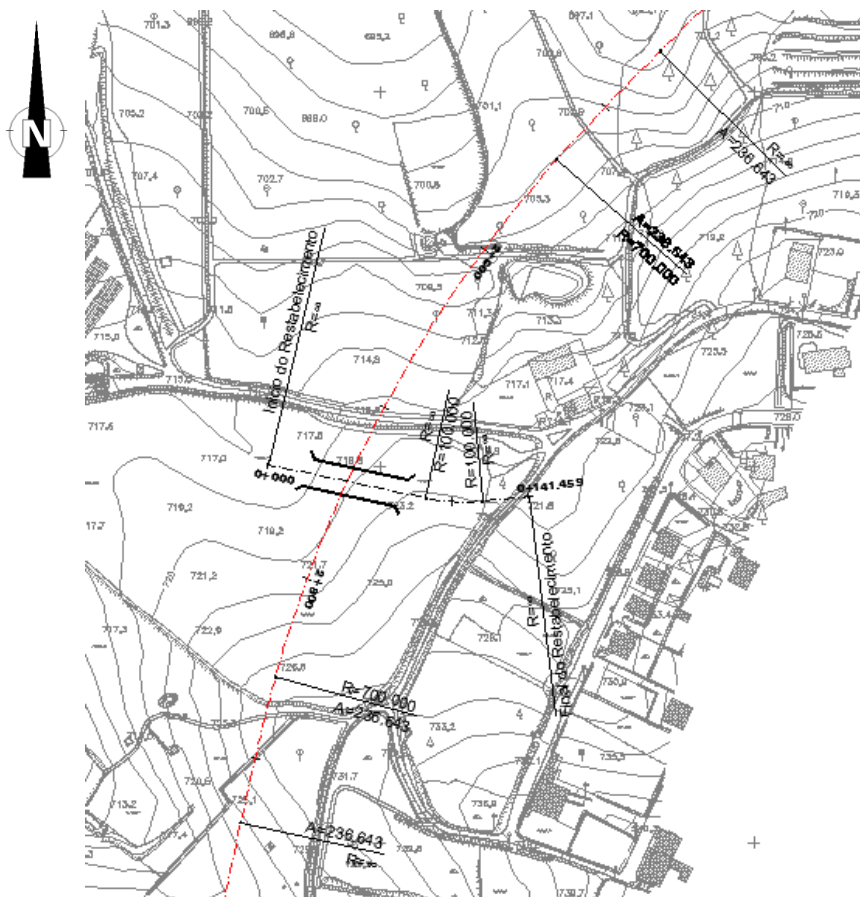


Figura 16 – Estrada Principal

Nos elementos fornecidos existe um troço de 2000 metros de uma via de extrema importância (I.P.), localizada entre o PK 1+600.000 e o PK 3+600.000. Para o estudo do referido nó, não havendo necessidade de analisar todos os elementos ao longo desta extensão, optou-se por calcular todos os valores das coordenadas, dos raios, das distâncias, dos desenvolvimentos e dos ângulos, necessários para o traçado da via, com base nas metodologias adquiridas nas disciplinas ao longo do curso.

Tabela 1 – Parâmetros importantes na caracterização da directriz da Estrada Principal

Alinhamento Recto							
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)
2 + 400,000	93991,024	199663,380	-41,121	-41,332	58,303	49,837	249,837
2 + 458,303	93949,903	199622,048					
Clotóide							
	M	P	A	R (m)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)
2 + 458,303	93949,903	199622,048	236,643	700,000	80,000	0,381	700,381
2 + 538,303	93894,577	199564,280					
Curva							
	M	P	R (m)	Ω (grad)	D (m)	Centro da Curva M P	
2 + 538,303	93894,577	199564,280	700,000	36,108	317,031	94418,200	199099,717
2 + 855,334	93744,084	199288,311					
Clotóide							
	M	P	A	R (m)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)
2 + 855,334	93744,084	199288,311	236,643	700,000	80,000	0,381	700,381
2 + 935,334	93725,483	199210,516					
Alinhamento Recto							
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)
2 + 935,334	93725,483	199210,516	-13,836	-63,161	64,659	13,729	213,729
2 + 999,992	93711,647	199147,355					

3.2.2 ESTRADA SECUNDÁRIA

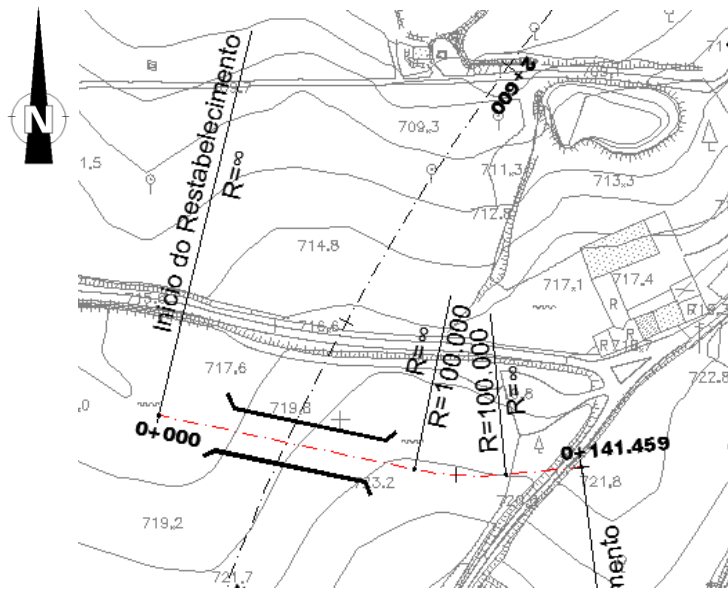


Figura 17 – Estrada Secundária

Quanto à Estrada Secundária, sendo já um traçado conhecido, é constituída por dois alinhamentos rectos e uma curva de 100 metros de raio o que perfaz uma extensão total de 141,459 metros.

Através do processo referido no Ponto 3.2.1, foi analisado este alinhamento de forma a disponibilizar os parâmetros necessários para o posterior desenvolvimento do trabalho em causa.

Tabela 2 - Parâmetros importantes na caracterização da directriz da Estrada Secundária

Alinhamento Recto							
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)
0 + 0,000	93740,259	199401,460					
0 + 86,074	93824,488	199383,732	84,229	-17,728	86,074	-86,79358	113,206
Curva							
	M	P	R (m)	Ω (grad)	D (m)	Centro da Curva M P	
0 + 86,074	93824,488	199383,732					
0 + 116,455	93854,702	199382,051	100,000	19,341	30,381	93834,104	199284,195
Alinhamento Recto							
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)
0 + 116,455	93854,702	199382,051					
0 + 141,462	93879,593	199384,457	24,891	2,406	25,007	93,865	93,865

3.2.3 PONTO DE INTERSECÇÃO DAS DUAS VIAS

Sendo esta uma *Intersecção Desnivelada*, altimetricamente não contém nenhum ponto em comum entre as duas vias. Já planimetricamente interceptam-se num ponto como se pode observar na Figura 18.

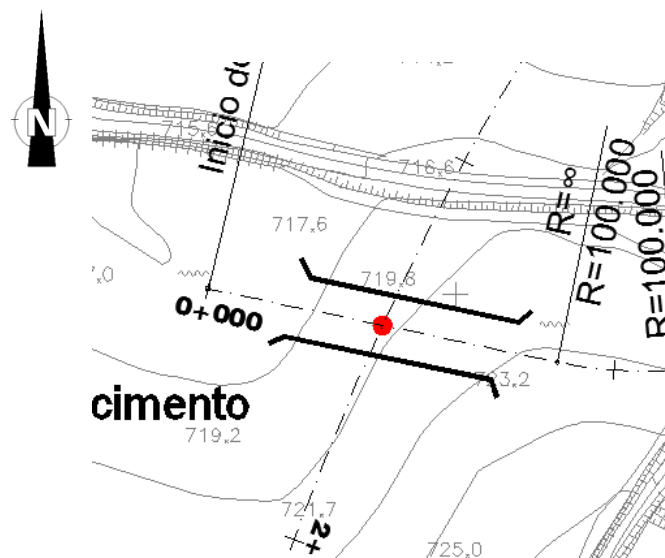


Figura 18 – Ponto de intersecção entre as duas vias

Através das equações que constituem a via é possível determinar o ponto de intersecção entre as duas vias, procedendo-se à igualdade entre as equações de ambas.

A intersecção da Estrada Secundária com a Estrada Principal realiza-se num troço recto, onde a sua equação se traduz numa equação da recta com variação linear.

Tabela 3 – Parâmetros da Equação da Estrada Secundária

Estrada Secundária					
Y	Y ₀	X	X ₀	m	b
199383,732	199401,460	93824,488	93740,259	-0,210474	219131,331

$$y = -0,210474 \times x + 219131,331$$

No que diz respeito à Estrada Principal, esta intercepta-se com a Estrada Secundária num troço em curva de raio 700 metros, em que a sua equação corresponde a uma equação da circunferência.

Tabela 4 – Parâmetros da Equação da Estrada Principal

Estrada Principal		
X ₀	Y ₀	R
94418,200	199099,717	700,000

$$(X - 94418,200)^2 + (Y - 199099,717)^2 = 700,000^2$$

Igualando (1) a (2), obtêm-se o respectivo ponto de intersecção:

Tabela 5 – Coordenadas do Ponto de intersecção das duas Vias

Intersecção da Estrada Principal com a Estrada Secundária	
M	P
93782,405	199392,573

3.3 ROTUNDAS

Após o estudo prévio e a análise dos dados fornecidos, procede-se à elaboração das rotundas que irão permitir a junção de vários caminhos afluentes à Estrada Secundária. Um dos aspectos a realçar nesta fase, tendo em conta a reduzida largura das faixas de rodagem das vias existentes e o desconhecimento do tráfego existente nas mesmas, é a não aplicação de investimentos elevados e a necessidade de encontrar soluções simples e económicas.

3.3.1 ROTUNDA A

A Rotunda A é a rotunda mais a oeste, como se pode observar na Figura 19, onde a sua localização foi estabelecida conforme os dados fornecidos. A ligação da Rotunda com a Estrada Secundária efectua-se no PK 0+000 da Estrada Secundária.

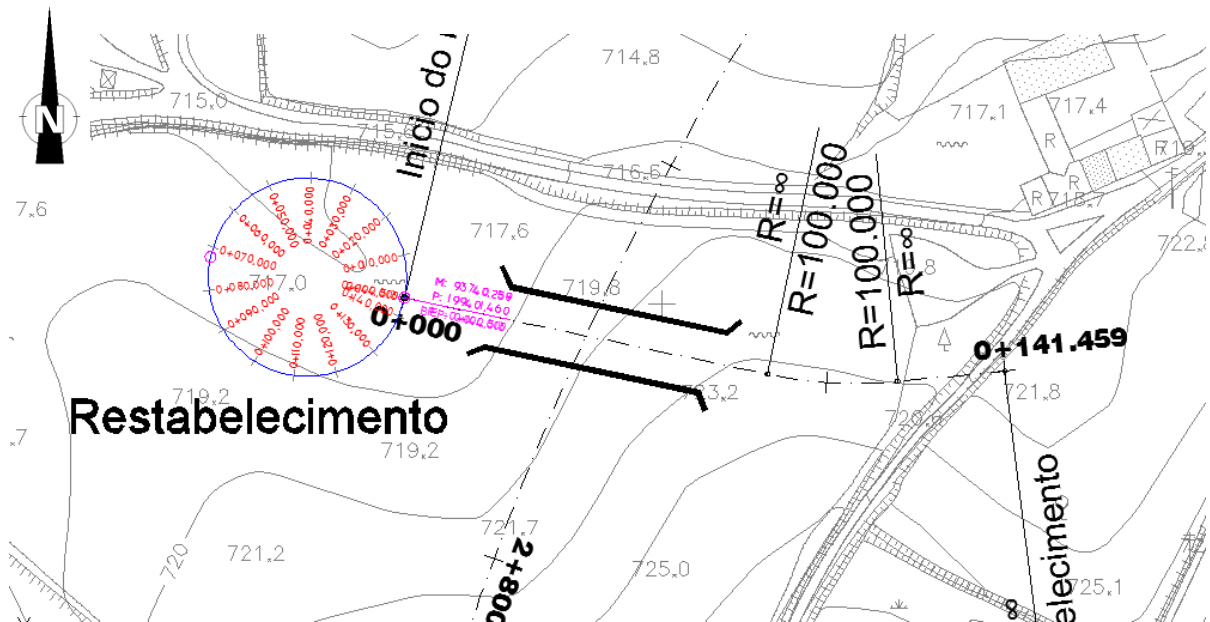
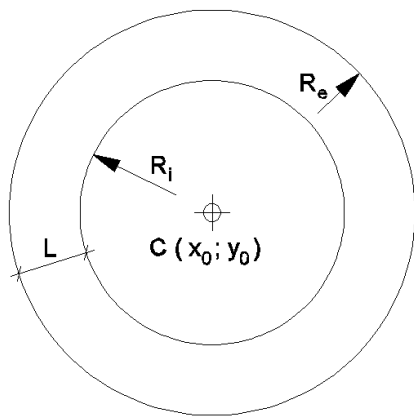


Figura 19 - Rotunda A

3.3.1.1 PLANTA

Como qualquer outro projecto de execução desta natureza, o eixo da rotunda situa-se no bordo exterior (direito para quem circula) e é constituído por um raio de 23 metros (zona rural).



$$L = 8,000 \text{ m}$$

$$R_i = 15,000 \text{ m}$$

$$R_e = R_i + L \leftrightarrow R_e = 15 + 8 \leftrightarrow R_e = 23,000 \text{ m}$$

$$x_0 = 93717,752$$

$$y_0 = 199406,197$$

Figura 20 – Características da planta da Rotunda A

O seu ponto de partida e de chegada situa-se na intersecção com o alinhamento da Estrada Secundária, mais precisamente no PK 0+000 como referido acima e como se pode observar na Figura 21.

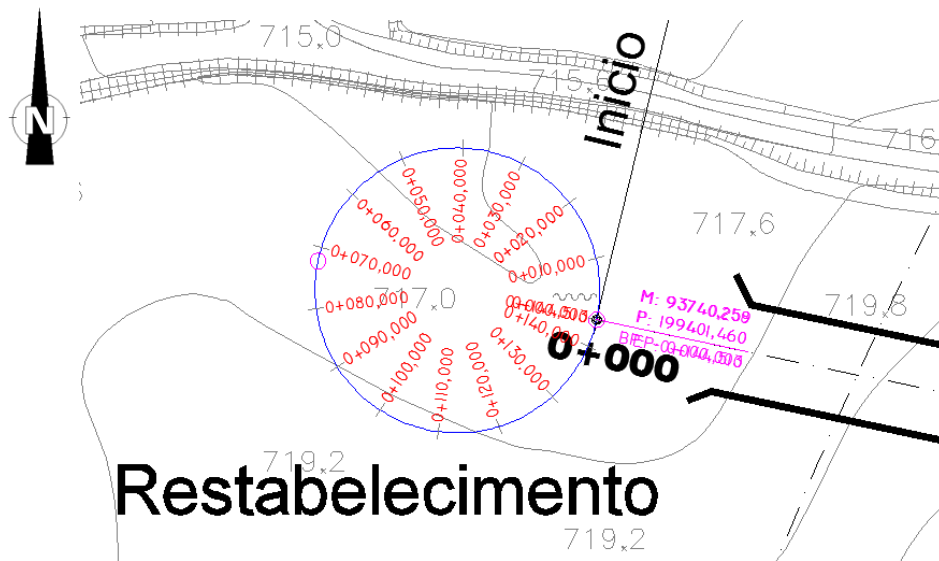


Figura 21 – Directriz da Rotunda A

Escolhido o raio, facilmente se determina o seu desenvolvimento através da equação do desenvolvimento de uma circunferência.

$$\text{Desenvolvimento} = 2 \times \pi \times R_e$$

logo,

$$\text{Desenvolvimento} = 2 \times \pi \times 23 \leftrightarrow \text{Desenvolvimento} = 144,513 \text{ m}$$

Através das coordenadas do centro da rotunda e do seu raio é possível, com base na equação de um círculo, encontrar a equação que define a rotunda.

$$\textit{Equação} \rightarrow (y - y_0)^2 + (x - x_0)^2 = R^2$$

sendo $x_0 = 93717,752$ e $y_0 = 199406,197$;

$$\textit{Equação} \rightarrow (y - 199406,197)^2 + (x - 93717,752)^2 = 23,000^2$$

A Tabela 6 mostra alguns parâmetros relevantes que definem a rotunda em estudo.

Tabela 6 – Parâmetros da directriz da Rotunda A

		Rotunda A								
Centro da Rotunda		M	P	ΔM	ΔP	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$	Az	Ω		
M	P					(grad)	(grad)	(grad)		
0 +	0,000			93740,259	199401,460	22,507	-4,737	-86,794	113,206	0,000
0 +	10,000			93740,160	199411,381	22,408	5,184	85,527	85,527	27,679
0 +	20,000			93735,892	199420,337	18,140	14,140	57,848	57,848	55,358
0 +	30,000			93728,248	199426,662	10,496	20,465	30,169	30,169	83,037
0 +	40,000			93718,651	199429,179	0,899	22,982	2,490	2,490	110,716
0 +	50,000			93708,887	199427,420	-8,865	21,223	-25,190	374,810	138,396
0 +	60,000			93700,772	199421,711	-16,980	15,514	-52,869	347,131	166,075
0 +	70,000			93695,817	199413,116	-21,935	6,919	-80,548	319,452	193,754
0 +	80,000			93694,944	199403,233	-22,808	-2,964	91,773	291,773	221,433
0 +	90,000	93717,752	199406,197	93698,314	199393,902	-19,438	-	64,094	264,094	249,112
							12,295			
0 +	100,000			93705,302	199386,858	-12,450	-	36,415	236,415	276,791
							19,339			
0 +	110,000			93714,606	199383,413	-3,146	-	8,736	208,736	304,470
							22,784			
0 +	120,000			93724,495	199384,208	6,743	-	-18,943	181,057	332,149
							21,989			
0 +	130,000			93733,130	199389,094	15,378	-	-46,623	153,377	359,829
							17,103			
0 +	140,000			93738,903	199397,163	21,151	-9,034	-74,302	125,698	387,508
0 +	144,513			93740,259	199401,460	22,507	-4,737	-86,793	113,207	399,999

3.3.1.2 PERFIL LONGITUDINAL

Conforme as normas portuguesas que regem este tipo de projectos desta natureza, a inclinação máxima dos seus traineis não pode ultrapassar os 4% no caso de se situar em zona rural e 5% em zona urbana.

O terreno sobre o qual se pretende elaborar o projecto, apresenta-se com um relevo muito acentuado o que provocará, numa fase mais posterior, na elaboração dos ramais de ligação, algumas dificuldades no cumprimento das normas quanto à inclinação dos seus traineis.

De modo a conciliar esses aspectos que de algum modo condicionaram as inclinações dos traineis da rotunda e dos ramais de ligação, optou-se por levar à inclinação máxima os traineis da rotunda de modo a minimizar a inclinação nos traineis dos ramais de ligação, pois como se verá posteriormente, estes apresentam aspectos críticos no problema em causa.

De modo simplificado e aproximado para combater estas questões, a Rotunda A terá a sua cota mais baixa no final do primeiro quarto do seu desenvolvimento total e a $\frac{3}{4}$ a cota mais alta.

No que diz respeito aos raios mínimos das concordâncias, as normas referem a aplicação normal de 600 metros, mas em caso de necessidade pode tomar-se como raio mínimo 400 metros. Neste caso concreto optou-se por um raio de 600 metros.

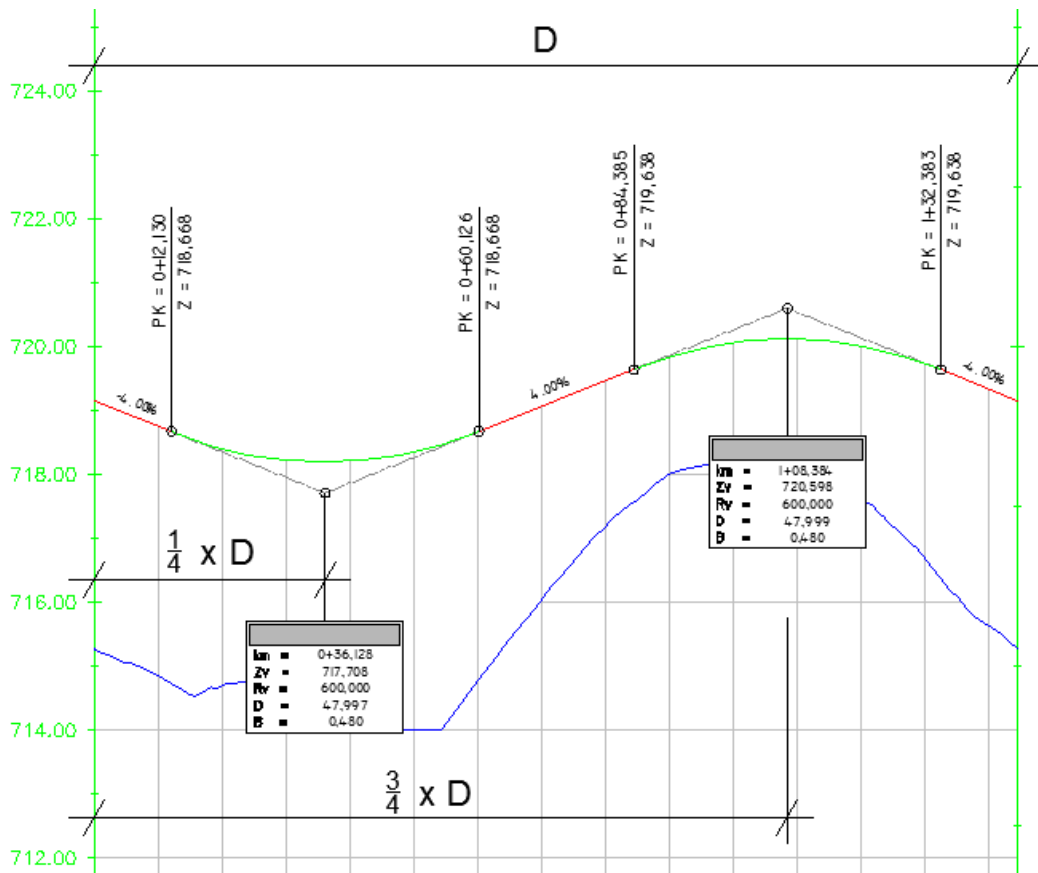


Figura 22 – Perfil Longitudinal da Rotunda A

A Tabela 7 mostra as cotas espaçadas de 10 metros ao longo da rasante da rotunda.

Tabela 7 – Parâmetros da Rasante da Rotunda A

Rotunda A				
		Designação	Inclinação - i (%)	Cotas
			Raio (m)	(m)
0 +	0,000			719,153
0 +	10,000	Trainel	-4,000 %	718,753
0 +	12,130			718,668
0 +	20,000			718,405
0 +	30,000			718,219
0 +	40,000	Concordância	600,000 m	718,200
0 +	50,000			718,348
0 +	60,000			718,663
0 +	60,126			718,668
0 +	70,000	Trainel	4,000 %	719,063
0 +	80,000			719,463
0 +	84,385			719,638
0 +	90,000			719,836
0 +	100,000			720,059
0 +	110,000	Concordância	600,000 m	720,116
0 +	120,000			720,006
0 +	130,000			719,729
0 +	132,383			719,638
0 +	140,000	Trainel	-4,000 %	719,333
0 +	144,513			719,153

3.3.1.3 RESTABELECIMENTOS ASSOCIADOS À ROTUNDA A

Nesta alínea irão ser tratados os restabelecimentos associados à rotunda A de modo a que estes permitam as ligações às vias existentes. Contudo, os ramos de ligação do nó em diamante não poderão ser tratados nesta fase, mas sim numa fase posterior juntamente com a inclinação transversal da rotunda.

O restabelecimento que permite dar continuidade da estrada Secundária através da rotunda às vias existentes é feito numa extensão de 98,903 metros de comprimento e constituído por dois alinhamentos rectos e por uma curva de viragem à esquerda.

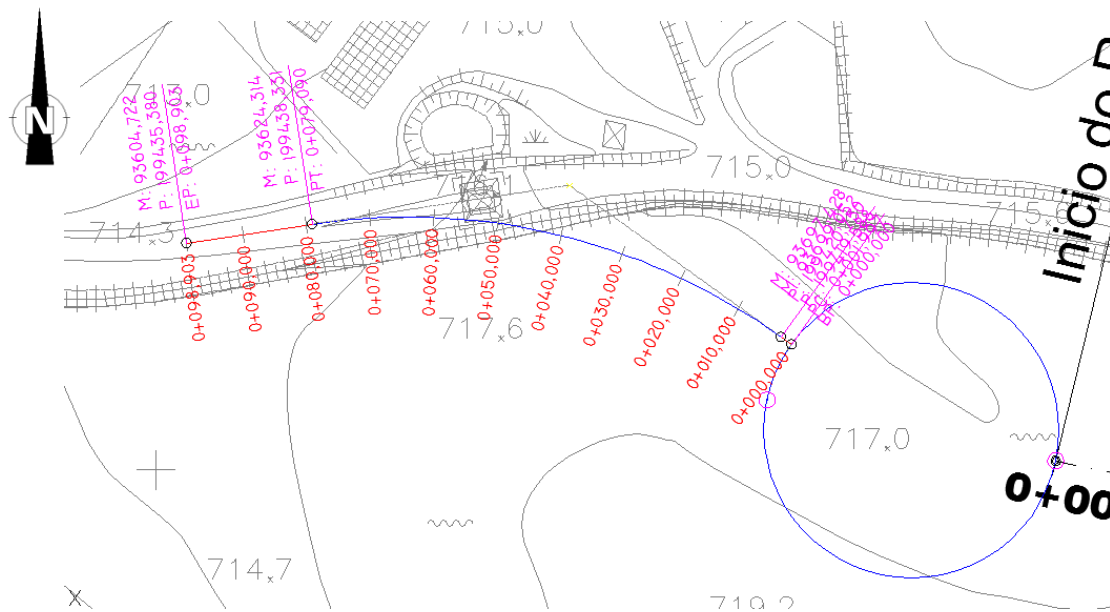


Figura 23 – Directriz do Restabelecimento

A Tabela 8 mostra alguns parâmetros importantes para a definição do Restabelecimento 1.

Tabela 8 – Parâmetros da Directriz do Restabelecimento 1

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	0,000	93699,052	199419,588					
			-1,624	1,162	1,997	-60,461807	339,538	
0 +	1,997	93697,428	199420,750					
Curva								
	M	P	R (m)	Ω (grad)	D (m)	Centro da Curva		
						M	P	
0 +	1,997	93697,428	199420,750					
			100,000	49,056	77,056	93639,208	199339,446	
0 +	79,053	93624,314	199438,331					
Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	79,053	93624,314	199438,331					
			-19,592	-2,951	19,813	90,483	290,483	
0 +	98,866	93604,722	199435,380					

De modo a estabelecer a correcta ligação da rotunda com a via existente, a rasante deste restabelecimento deverá partir da mesma cota do ponto de intersecção com a rotunda e na sua extensão final deverá acompanhar as cotas da via existente, como mostra a Figura 24.

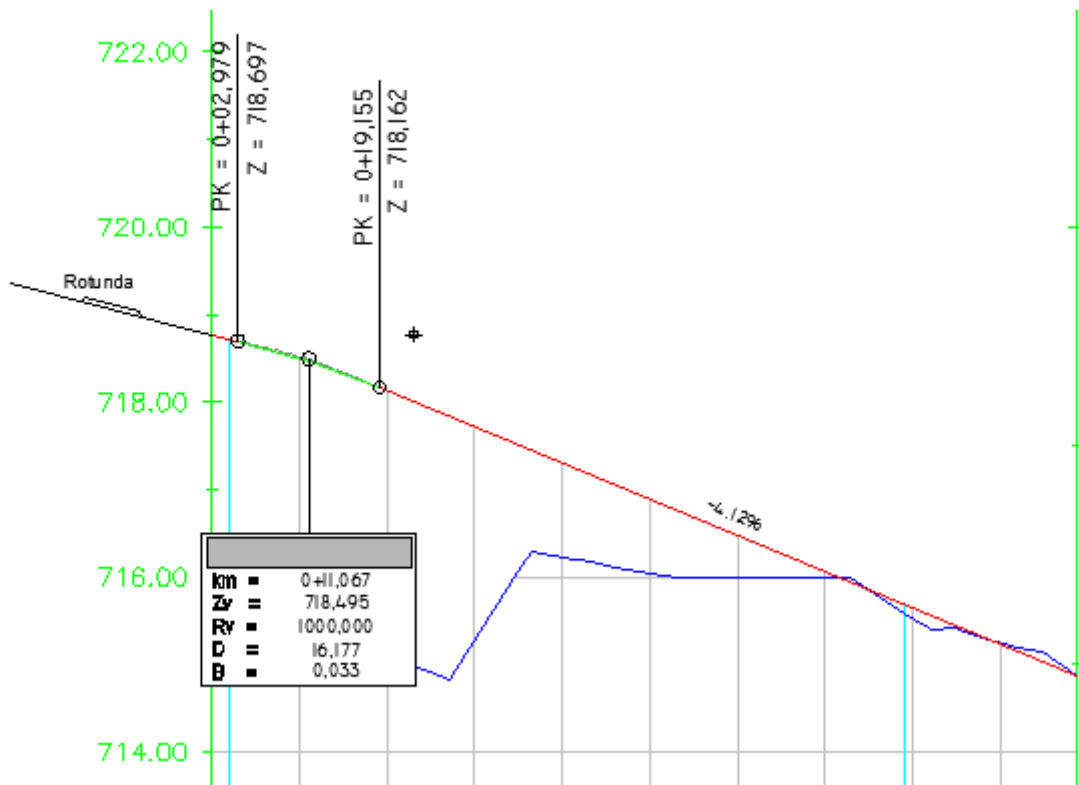


Figura 24 – Perfil Longitudinal do Restabelecimento 1

Através da Figura 23 pode constatar-se também, a existência de algumas vias mais a norte deste restabelecimento com aproximadamente 2,5 metros de largura de faixa de rodagem, o que propicia soluções simples e investimentos reduzidos.

3.3.2 ROTUNDA B

Nesta alínea a Rotunda B irá ser tratada de uma forma mais simples que a Rotunda A, devido às semelhanças entre ambas, não justificando uma repetição dos processos de escolha e concepção da mesma.

A rotunda B tal como a Rotunda A, localiza-se num ponto já fornecido que coincide com o ponto final do alinhamento da Estrada Secundária (0+141,459 m).

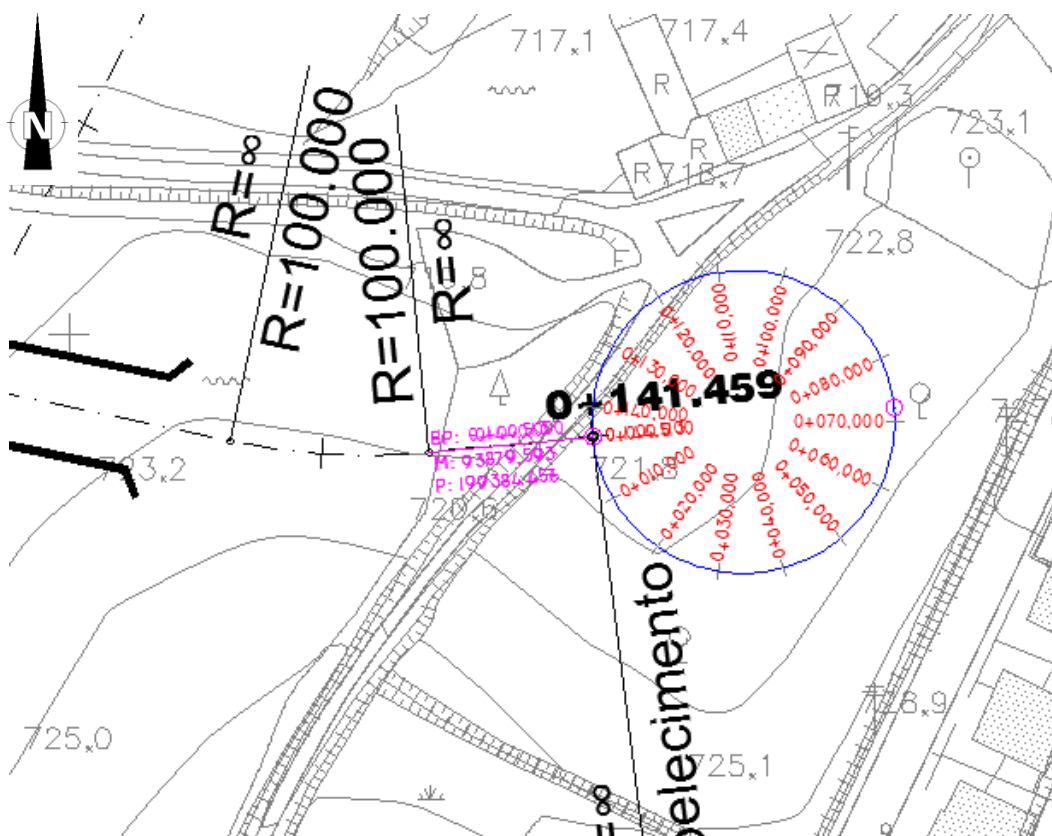
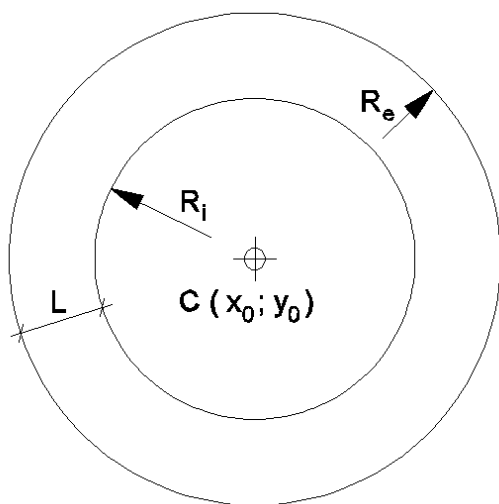


Figura 25 – Directriz da Rotunda B

3.3.2.1 PLANTA



$$L = 8,000 \text{ m}$$

$$R_i = 15,000 \text{ m}$$

$$R_e = R_i + L \leftrightarrow R_e = 15 + 8 \leftrightarrow R_e = 23,000 \text{ m}$$

$$x_0 = 93902,486$$

$$y_0 = 199386,669$$

Definido o raio é possível determinar o desenvolvimento:

$$\text{Desenvolvimento} = 2 \times \pi \times 23 \leftrightarrow \text{Desenvolvimento} = 144,513 \text{ m}$$

Com base nas coordenadas do seu centro e do seu raio, é possível definir a equação que o define;

$$Equação \rightarrow (y - 199386,669)^2 + (x - 93902,486)^2 = 23,000^2$$

A tabela 9 mostra alguns parâmetros relevantes que definem a rotunda em estudo.

Tabela 9 – Parâmetros da Directriz da Rotunda B

		Rotunda B						
Centro da Rotunda		M	P	ΔM	ΔP	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$	Az	Ω
M	P					(grad)	(grad)	(grad)
0 + 0,000		93879,593	199384,456	-22,893	-2,213	93,865	293,865	0,000
0 + 10,000		93882,655	199375,019	-19,831	-11,650	66,186	266,186	27,679
0 + 20,000		93889,407	199367,750	-13,079	-18,919	38,507	238,507	55,358
0 + 30,000		93898,593	199364,001	-3,893	-22,668	10,828	210,828	83,037
0 + 40,000		93908,503	199364,470	6,017	-22,199	-16,851	183,149	110,716
0 + 50,000		93917,294	199369,070	14,808	-17,599	-44,531	155,469	138,396
0 + 60,000		93923,329	199376,945	20,843	-9,724	-72,210	127,790	166,075
0 + 70,000		93925,486	199386,629	23,000	-0,040	-99,889	100,111	193,754
0 + 80,000	93902,486 199386,669	93923,363	199396,320	20,877	9,651	72,432	72,432	221,433
0 + 90,000		93917,355	199404,216	14,869	17,547	44,753	44,753	249,112
0 + 100,000		93908,581	199408,847	6,095	22,178	17,074	17,074	276,791
0 + 110,000		93898,672	199409,351	-3,814	22,682	-10,605	389,395	304,470
0 + 120,000		93889,473	199405,634	-13,013	18,965	-38,284	361,716	332,149
0 + 130,000		93882,696	199398,388	-19,790	11,719	-65,964	334,036	359,829
0 + 140,000		93879,601	199388,962	-22,885	2,293	-93,643	306,357	387,508
0 + 144,513		93879,593	199384,456	-22,893	-2,213	93,866	293,866	399,999

3.3.2.2 PERFIL LONGITUDINAL

A rasante da Rotunda B foi determinada com base na mesma filosofia da Rotunda A. Esta é constituída por dois traneis, um a 4,00% e outro a -4,00%, concordados entre si por curvas verticais de 600 metros.

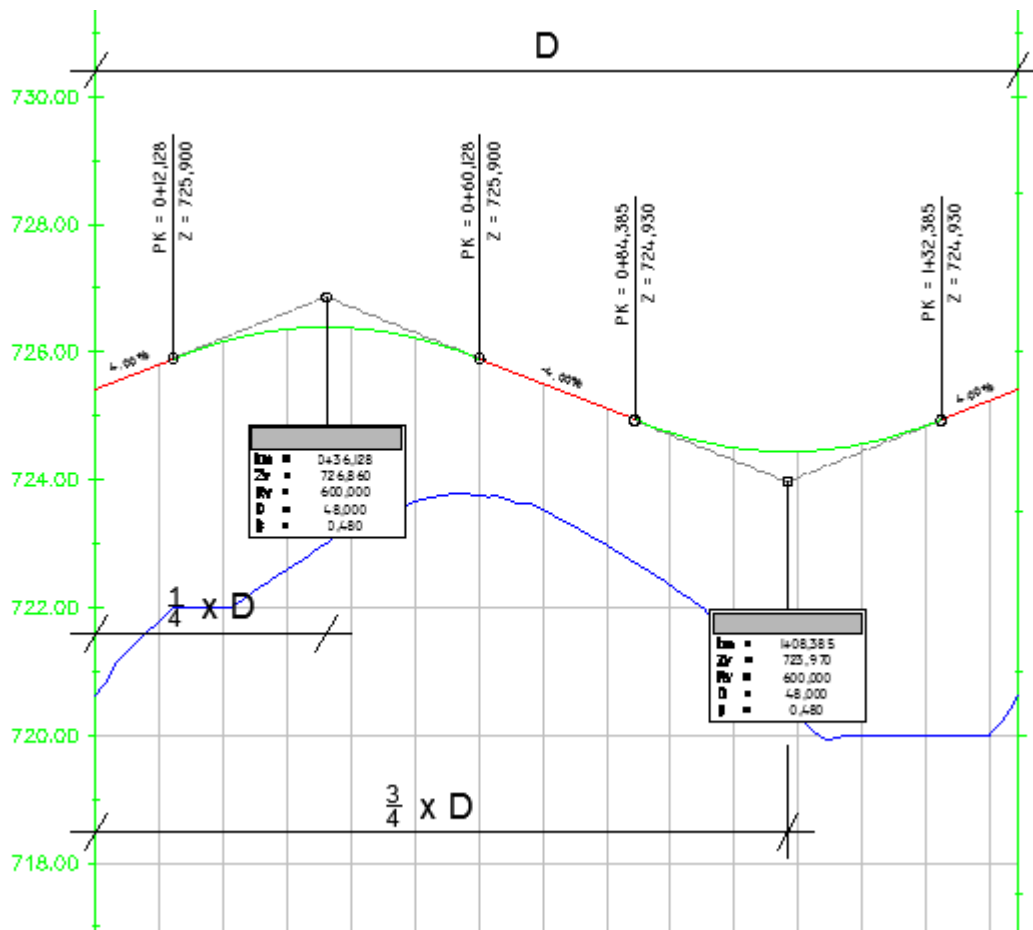


Figura 26 – Perfil Longitudinal da Rotunda B

A Tabela 10 mostra as cotas espaçadas de 10 metros ao longo da rasante da rotunda.

Tabela 10 – Parâmetros da Rasante da Rotunda B

Rotunda B			
	Designação	Inclinação - i (%) Raio (m)	Cotas (m)
0 +	0,000		725,415
0 +	10,000	Trainel 4,000	725,815
0 +	12,128		725,900
0 +	20,000		726,267
0 +	30,000		726,881
0 +	40,000	Concordância 600,000	727,662
0 +	50,000		728,610
0 +	60,000		729,725
0 +	60,128		729,740
0 +	70,000	Trainel -4,000	729,345
0 +	80,000		728,945
0 +	84,385		728,770
0 +	90,000		728,519
0 +	100,000		727,942
0 +	110,000	Concordância 600,000	727,198
0 +	120,000		726,288
0 +	130,000		725,211
0 +	132,385		724,930
0 +	140,000	Trainel 4,000	725,234
0 +	144,513		725,415

3.3.2.3 RESTABELECIMENTOS ASSOCIADOS À ROTUNDA B

A directriz que estabelece a ligação da rotunda com as vias existentes é constituído por dois alinhamentos rectos concordados entre si por uma curva circular de viragem à direita de 50 metros que perfaz uma extensão total de 51,884 metros.

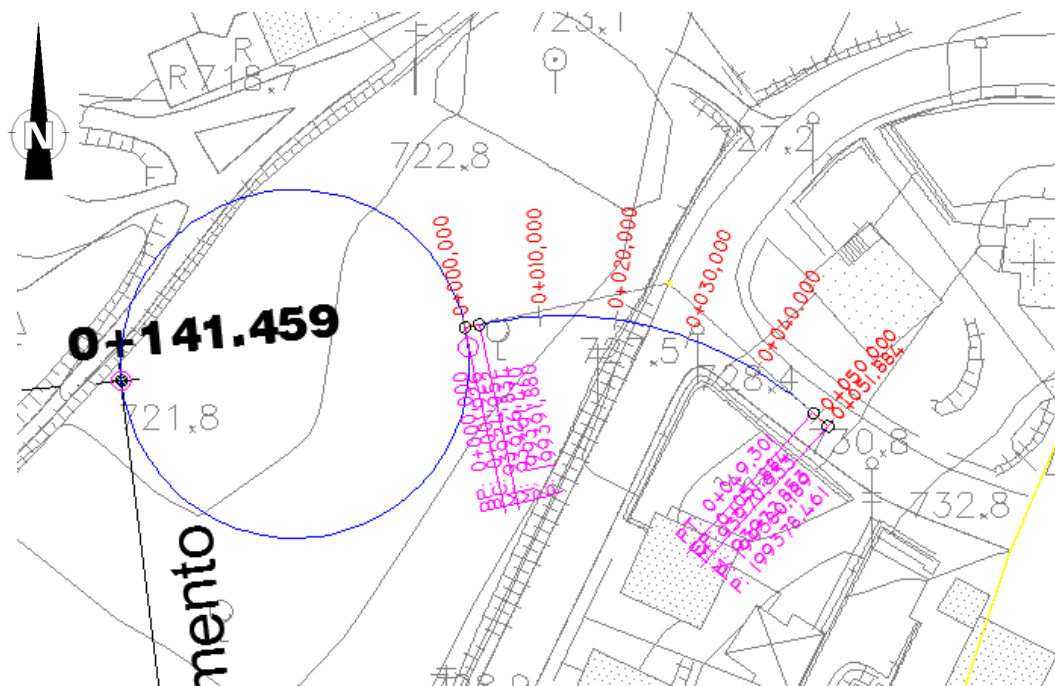


Figura 27 – Diretriz do Restabelecimento 2

As restantes vias, como mostra a figura, atendendo ao ponto de vista económico será dada a sua continuidade através de uma intersecção de nível simples.

A Tabela 11 mostra alguns parâmetros importantes para a definição do Restabelecimento 2.

Tabela 11 – Parâmetros da Directriz do Restabelecimento 2

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	0,000	93924,959	199391,567					
			1,882	0,410	1,926	86,3443891	86,344	
0 +	1,926	93926,841	199391,977					
Curva								
	M	P	R (m)	Ω (grad)	D (m)	Centro da Curva		
						M	P	
0 +	1,926	93926,841	199391,977					
			50,000	60,326	47,380	93937,488	199343,124	
0 +	49,306	93970,940	199380,286					
Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	49,306	93970,940	199380,286					
			1,920	-1,729	2,584	-53,329	146,671	
0 +	51,890	93972,860	199378,557					

A rasante deste Restabelecimento será constituída por dois traineis concordados entre si por uma curva vertical de 270 metros. O facto de se tratarem de caminhos públicos com fraco tráfego permite o uso de inclinações mais forte uma vez que não caem sob o alçado das Normas do Traçado, específicas de Estradas Nacionais.

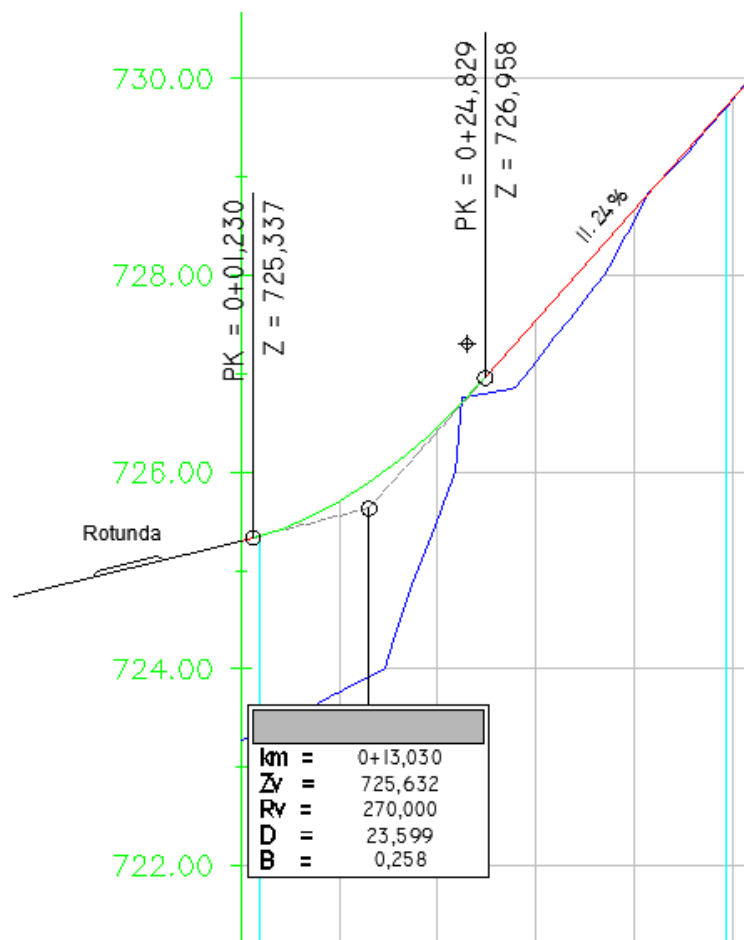


Figura 28 – Perfil Longitudinal do Restabelecimento 2

3.4 RAMOS DE LIGAÇÃO

Qualquer projecto de Engenharia Civil é regido por normas nacionais, que estabelecem valores limites e desejados para determinados parâmetros fundamentais de modo a que ofereçam comodidade e segurança aos seus utentes, não perdendo de vista o factor económico.

A elaboração deste trabalho tem por base a “Norma de Nós de Ligação” e para justificar algumas opções e de modo a possibilitar melhor compreensão do leitor, seguem-se alguns extractos da norma: o primeiro refere-se à largura da faixa de rodagem e o segundo aos parâmetros a aplicar nos ramos, respectivamente.

Número de vias dos ramos de ligação

“Segundo a norma de Nós de Ligação os ramos de ligação com uma via, em alinhamentos recto e curvas de raios superiores a 90,0 metros, devem ter 4,0 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 1,0 metro. No caso de o raio ser inferior a 90,0 metros será necessário considerar as sobrelarguras constantes do Quadro 1.”

Quadro 1 – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação

Raio (m)	Sobrelargura (m)	Largura Total (m)
35	2,00	6,00
45	1,25	5,25
55	1,00	5,00
65	0,60	4,60
75	0,30	4,30
90	0,00	4,00

Curvas de transição

“As condições a que devem satisfazer as curvas de transição são idênticas às relativas a pleno traçado, embora para raios iguais ou inferiores a 120,0 metros sejam mais restritivas, pois os condutores nestes casos aceitam valores superiores para a aceleração centrípeta e a sobrelevação, em virtude de em geral os ramos de ligação terem só uma via, e serem de sentido único. No Quadro 2 indicam-se as extensões mínimas das curvas de transição e o parâmetro aproximado correspondente, no caso de se adoptarem clotóides.”

Quadro 2 – Extensão mínima das curvas de transição dos ramos de ligação

Velocidade Base (Km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60
Raio Mínimo (m)	15	25	35	45	60	75	90	120
Extensão Mínima da Transição (m)	15	21	24	28	32	36	40	45
Parâmetro da Clotóide	15,0	22,5	28,0	36,0	45,0	52,0	60,0	75,0

Trainéis – Ramos de ligação

“No que diz respeito aos Trainéis dos Ramos de Ligação, a inclinação das rampas é geralmente controlada 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.

Como regra geral é desejável que os ramos de ligação em rampa para velocidades de projecto iguais ou superiores a 70 Km/h tenham inclinações de 3 a 5%; para velocidades entre 55 a 70 Km/h tenham inclinações de 4 a 6%; para velocidades entre 40 e 55 Km/h de 5 a 7%; e para velocidades entre 25 e 40 Km/h de 6 a 8%. Nos declives podem adoptar-se os máximos referidos anteriormente em função da velocidade, em casos especiais podem aumentar-se 2%.”

Sobreelevação dos ramos de ligação

Quadro 3 – Sobreelevação dos ramos de ligação

Raio (m)	Velocidade Base (Km/h)						
	30	35	40	45	50	55	60
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

“Os princípios que se devem considerar nos ramos de ligação são os mesmos que em pleno traçado, de modo a assegurar-se a comodidade do condutor e um efeito estético agradável. No entanto, nos ramos pode adoptar-se, sem inconveniente, uma percentagem maior para a variação da sobreelevação. No Quadro 4 indicam-se os valores normais dessa variação nos ramos de ligação.”

Quadro 4 – Transição da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação

Velocidade no Ramo (Km/h)	30	40	50	>60
Varição máxima da sobrelevação (%) em cada 20,0 metros de extensão	5,3	4,7	4,0	3,3

Normalmente um nó em diamante é constituído por quatro ramos directos de ligação, cuja função permite estabelecer as entradas e saídas de uma dada via para outra. No corrente trabalho, foram elaborados quatro ramos directos, cujas entradas e saídas da Estrada Secundária para a Estrada Principal foram auxiliadas através das rotundas atrás definidas.

De modo a facilitar a compreensão e a própria elaboração dos mesmos, optou-se pela seguinte designação demonstrada na Figura 29.

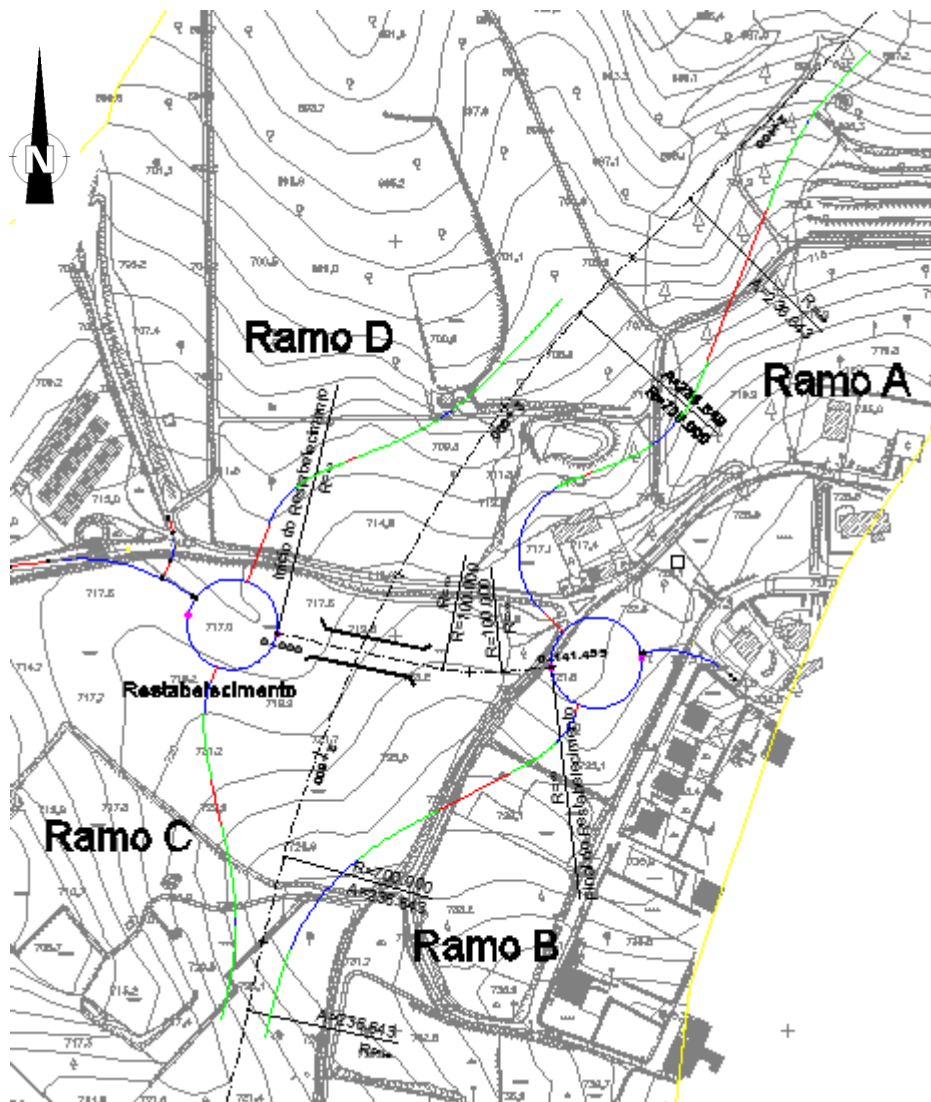


Figura 29 – Designação dos respectivos ramos

3.4.1 RAMO A

O ramo A é o ramo directo de ligação mais complexo de todos os ramos presentes neste trabalho, devido não só à sua diferença de cotas mas também devido a algumas impedâncias no seu traçado.

Sempre que surgem obstáculos ou impedâncias no traçado num projecto desta natureza, em que os custos de os "ultrapassar" forem superiores a uma solução alternativa deve optar-se por esta última, apesar de não ser regra geral, visto depender de outros factores que não só o factor económico.

Neste caso em concreto, e como se pode observar na figura x, estamos perante uma habitação e um "cabeço" onde os custos de expropriação e do movimento de terras, respectivamente, poderão ser elevados.

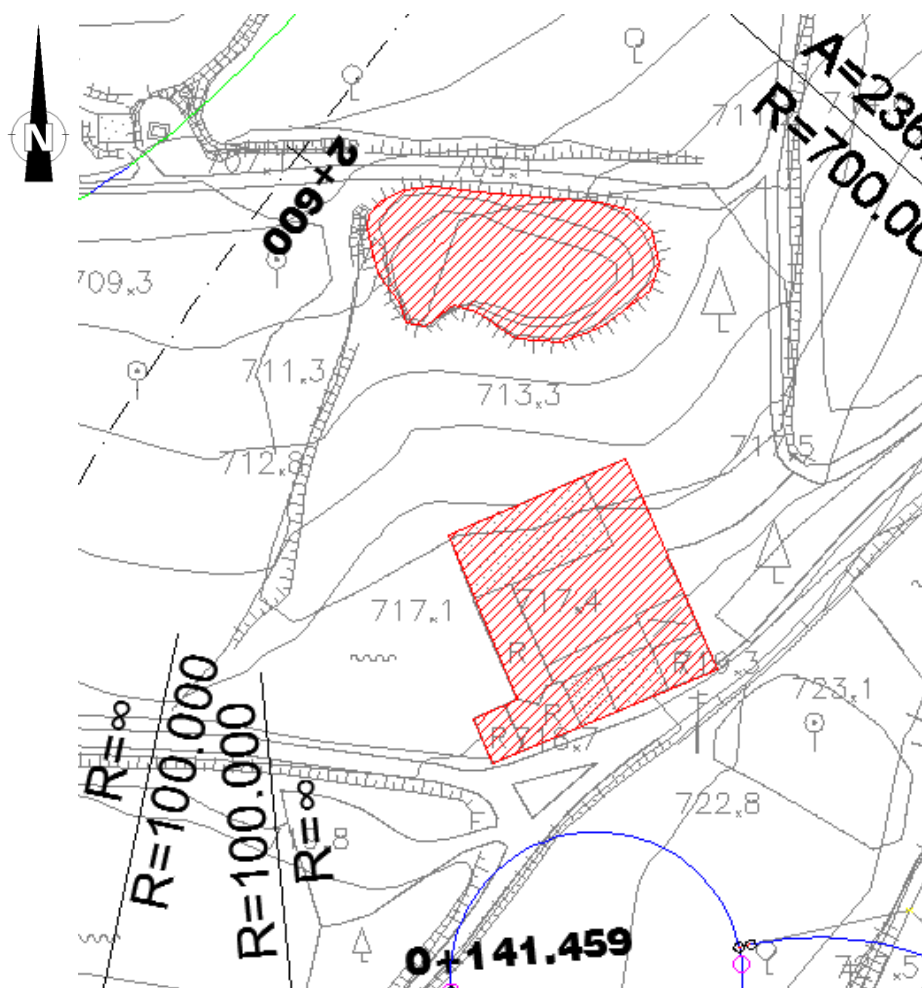


Figura 30 – "Obstáculos" no traçado do ramo A

Deste modo, tentou-se encontrar uma solução viável de forma a contornar os obstáculos, onde por um lado reduz os custos e, por outro, obriga a uma maior extensão do ramo, o que de certa forma se torna um factor positivo uma vez que resulta numa minimização da diferença de inclinação.

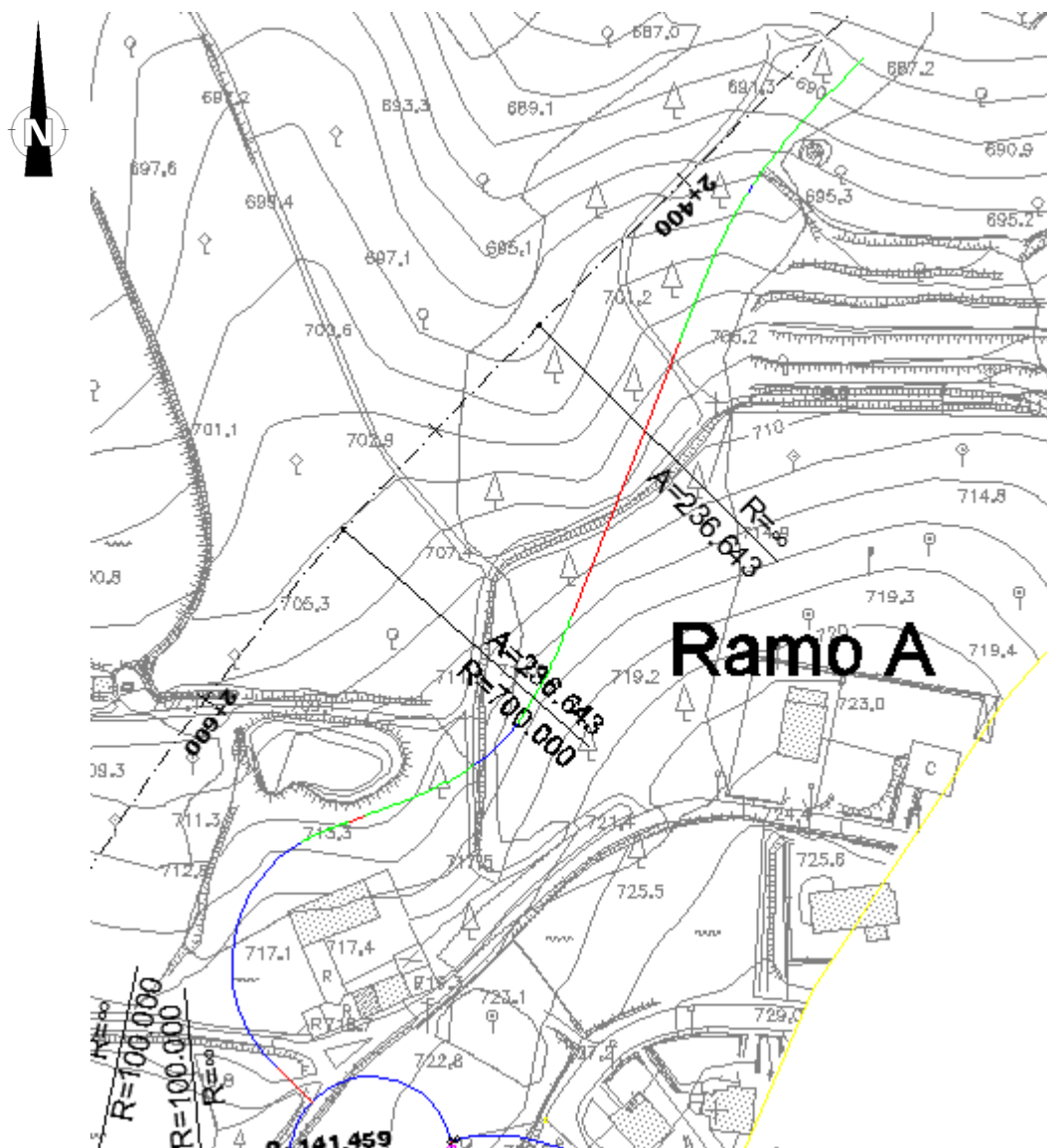


Figura 31 – Ramo A contornando os obstáculos

3.4.1.1 DIRECTRIZ

Sendo a orientação do alinhamento, o sentido de circulação, e a sua extensão não permitir uma análise total, esta irá ser dividida em três partes para uma melhor compreensão.

1ª Parte

Esta primeira parte que corresponde à entrada do alinhamento, é constituída por um pequeno alinhamento recto de extensão 14,434 metros que estabelece a ligação com a rotunda. De seguida este alinhamento é formado por uma curva de pequeno raio (40 metros) e uma clotóide de 15 metros de extensão.

Perante o valor reduzido do raio da curva e da extensão da clotóide escolhidos, podemos afirmar que estes trarão algumas dificuldades aos utentes que nela circulam. No entanto, visto ser uma zona de

entrada onde as velocidades praticadas são relativamente reduzidas, minimizará de algum modo esse inconveniente, e por outro lado é possível contornar a habitação e o “cabeço” presentes podendo chegar a soluções mais económicas.

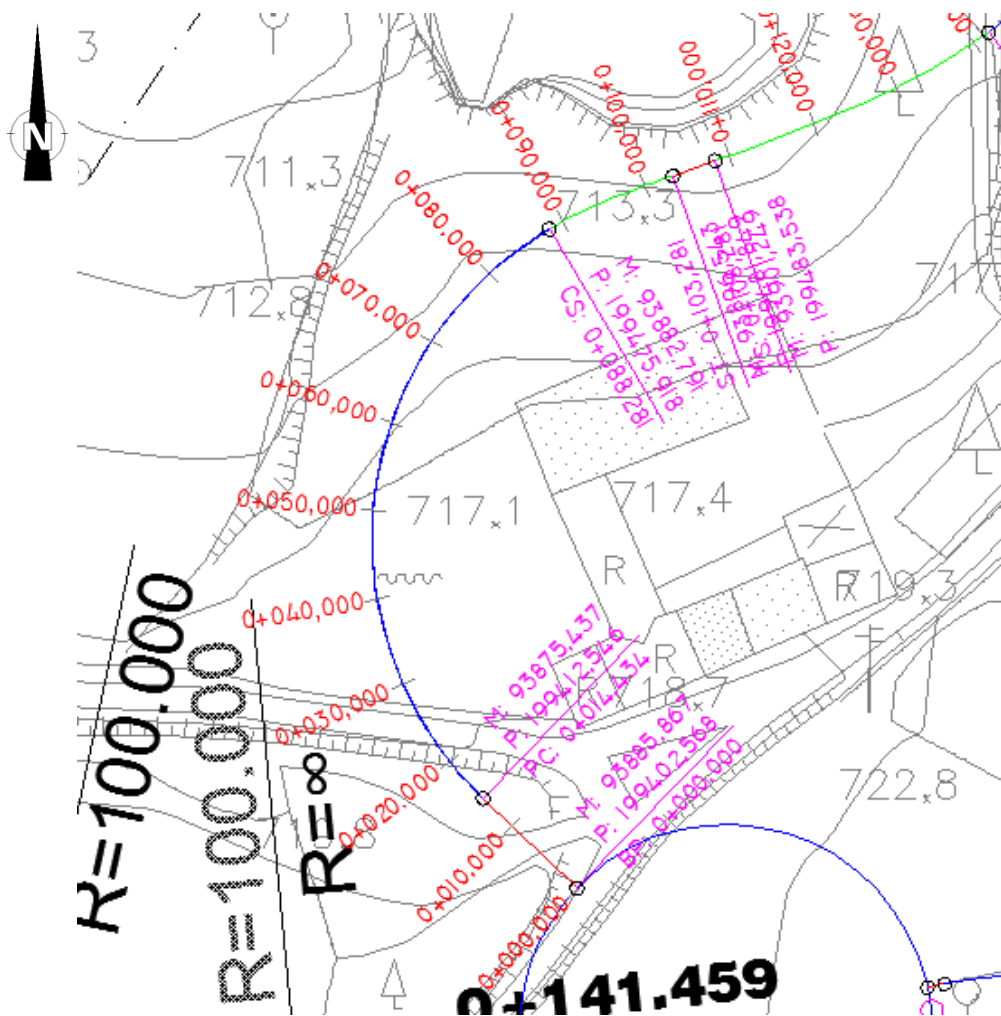


Figura 32 – Primeira parte da directriz do ramo A

A Tabela 12 mostra alguns parâmetros importantes calculados para a correcta definição desta primeira parte do ramo.

Tabela 12 – Parâmetros da primeira parte da directriz do ramo A

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	0,000	93885,867	199402,568	-10,430	9,978	14,434	-51,410	348,590
0 +	14,434	93875,437	199412,546					
Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - \tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva M P		
0 +	14,434	93875,437	199412,546	40,000	117,536	73,850	93903,088	199441,450
0 +	88,284	93882,791	199475,918					
Clotóide								
	M	P	A	τ (rad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	88,284	93882,791	199475,918	24,495	0,188	15,000	0,935	40,188
0 +	103,284	93896,543	199481,849					
Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	103,284	93896,543	199481,849	4,706	1,689	5,000	78,063	78,063
0 +	108,284	93901,249	199483,538					

2ª Parte

De modo a facilitar a entrada na Estrada Principal tanto nesta parte como na parte posterior, tentou-se de certo modo escolher os raios crescentes no sentido da entrada para a saída. Com base nisso, o raio escolhido nesta parte foi de 60 metros com um parâmetro “A” da clotóide de 45.

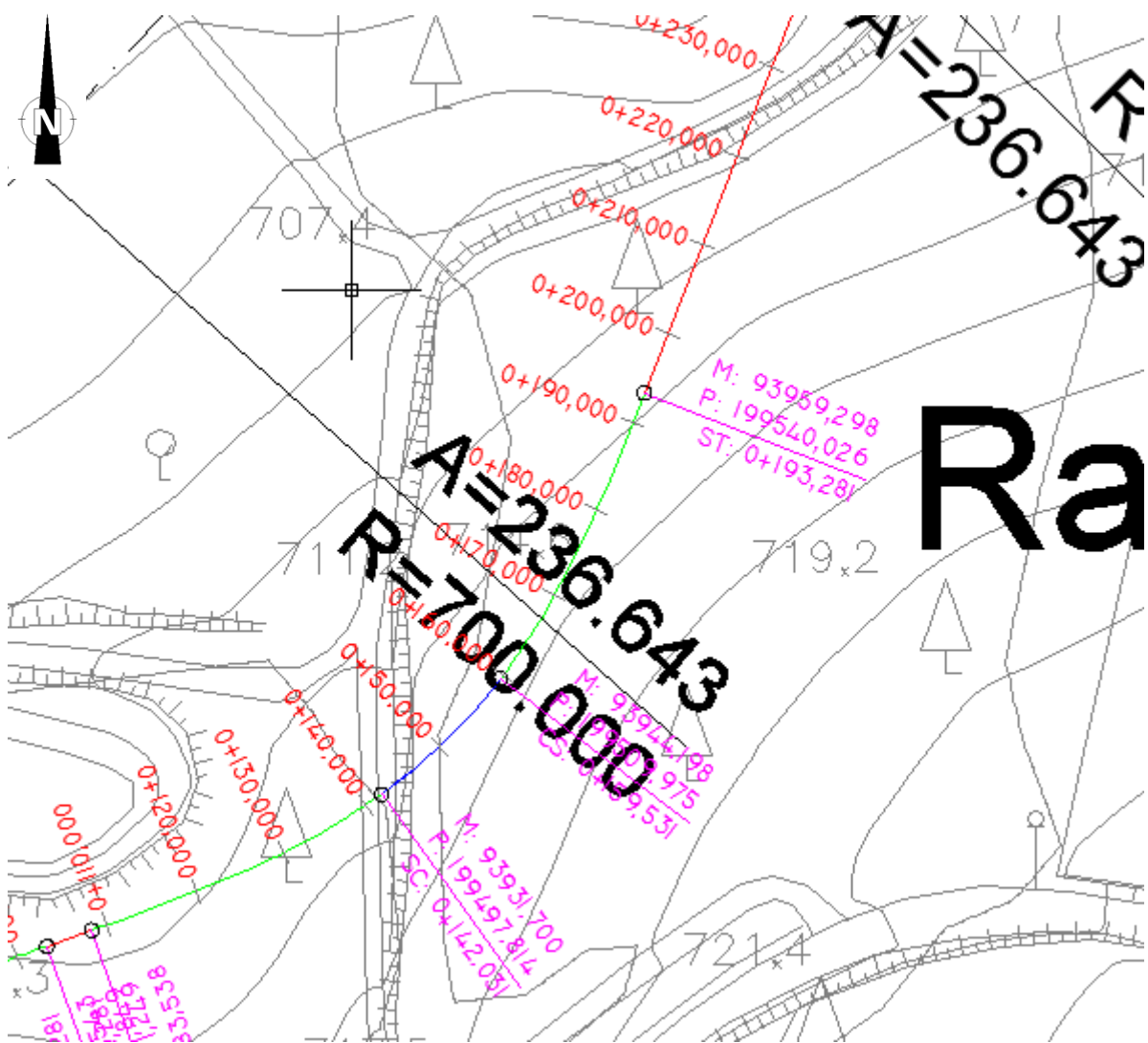


Figura 33 – Segunda parte da directriz do ramo A

A Tabela 13 mostra alguns parâmetros importantes calculados para a correcta definição desta segunda parte do ramo.

Tabela 13 – Parâmetros da segunda parte da directriz do ramo A

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	103,284	93896,543	199481,849					
			4,706	1,689	5,000	78,063	78,063	
0 +	108,284	93901,249	199483,538					
Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	108,284	93901,249	199483,538					
			45,000	0,281	33,750	3,146	63,146	
0 +	142,034	93931,700	199497,814					
Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - 2\tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva M P		
0 +	142,034	93931,700	199497,814					
			60,000	18,574	17,506	93896,549	199546,438	
0 +	159,540	93944,198	199509,975					
Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	159,540	93944,198	199509,975					
			45,000	0,281	33,750	3,146	63,146	
0 +	193,290	93959,298	199540,026					
Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	193,290	93959,298	199540,026					
			30,306	77,687	83,389	23,679	23,679	
0 +	276,679	93989,604	199617,713					

3ª Parte

Foi escolhido o valor de 120 metros para o raio da curva e 75 para o parâmetro da clotóide, uma vez que o utente que circula nesta parte, encontra-se prestes a entrar na via de aceleração para de seguida se inserir na Estrada Principal.

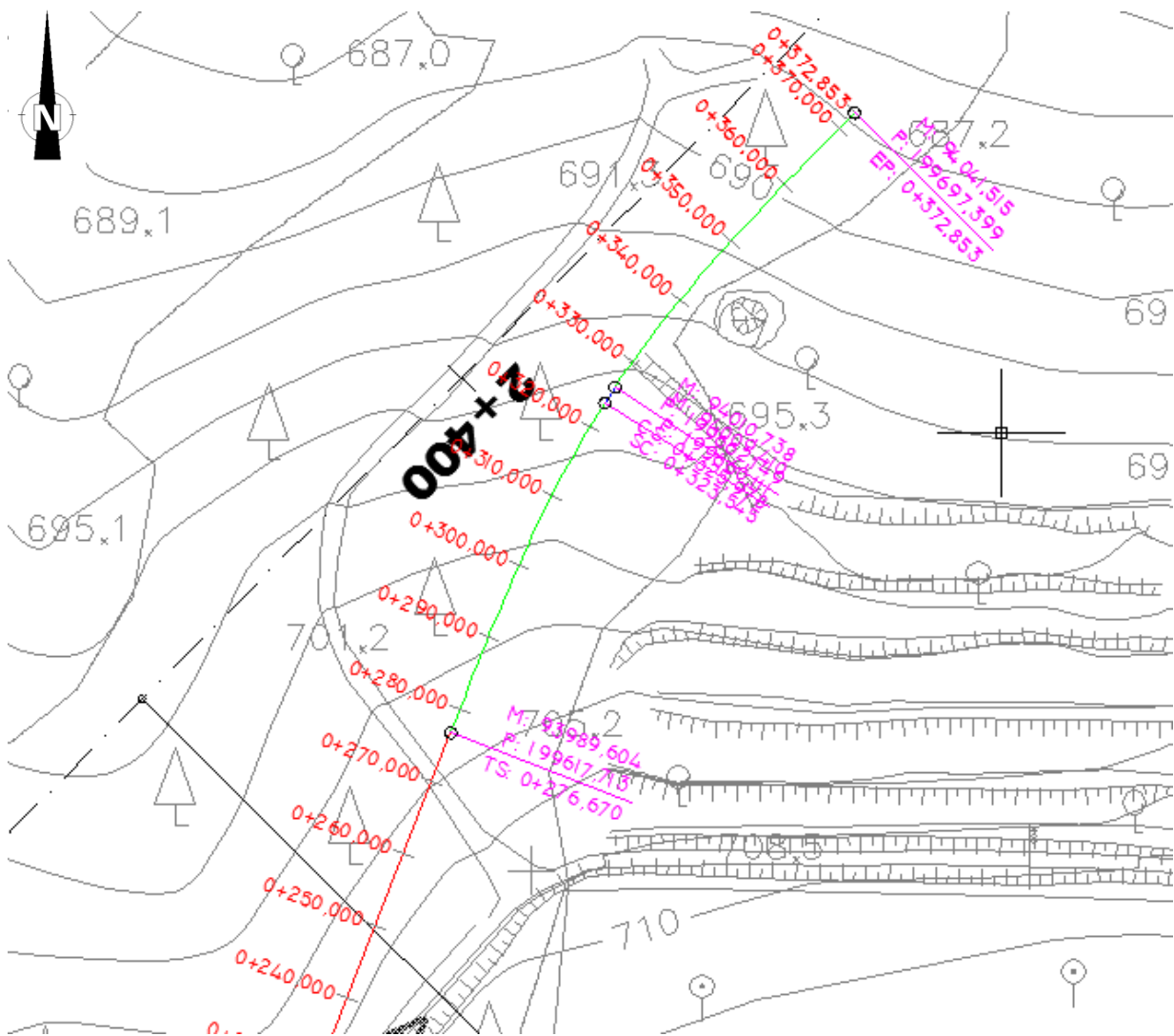


Figura 34 – Terceira parte da directriz do ramo A

A Tabela 14 mostra alguns parâmetros importantes calculados para a correcta definição desta segunda parte do ramo.

Tabela 14 – Parâmetros da terceira parte da directriz do ramo A

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	193,290	93959,298	199540,026					
			30,306	77,687	83,389	23,679	23,679	
0 +	276,679	93989,604	199617,713					
Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	276,679	93989,604	199617,713					
			75,000	0,195	46,875	3,043	123,046	
0 +	323,554	94009,410	199660,111					
Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - 2\tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva M P		
0 +	323,554	94009,410	199660,111					
			120,000	1,291	2,433	94110,615	199595,632	
0 +	325,988	94010,738	199662,149					
Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	325,988	94010,738	199662,149					
			75,000	0,195	46,875	3,043	123,043	
0 +	372,863	94041,515	199697,399					

3.4.1.2 PLANTA

Após a determinação do eixo podemos observar que este perfaz uma extensão total de 372,863 metros e como se pode visualizar nos extractos da norma atrás transcritos, os ramos de ligação com extensões superiores a 300,0 metros, devem ser constituídos por uma faixa de rodagem de 2 vias com largura de 7,0 metros. Este facto é justificado devido à sua elevada extensão, podendo existir maior probabilidade de ocorrência de um acidente e, no caso dos trainéis se encontrarem em rampa, um veículo pesado poderá ser causador do congestionamento no tráfego obrigando à obstrução da via.

Contudo e tendo a noção da divergência perante a norma, optou-se por dotar este ramo apenas com 1 via com 4 metros de largura. A justificação desta tomada de decisão, como se pode concluir através do perfil longitudinal, é o facto de este ramo se encontrar numa situação de inclinação acentuada, chegando atingir uma inclinação de 9,90%, o que elimina neste caso a possibilidade de um veículo pesado gerar congestionamento, uma vez que o declive dos trainéis o auxilia na sua aceleração. No que diz respeito à probabilidade de surgir um acidente que impeça a circulação normal, a extensão

total do ramo comparativamente à extensão definida pela norma, apresenta-se com uma diferença de valor baixo (72,863 metros) e visto o outro factor se encontrar eliminado pelas razões acima descritas, não justifica a aplicação de 2 vias na qual obrigaria a um maior investimento.

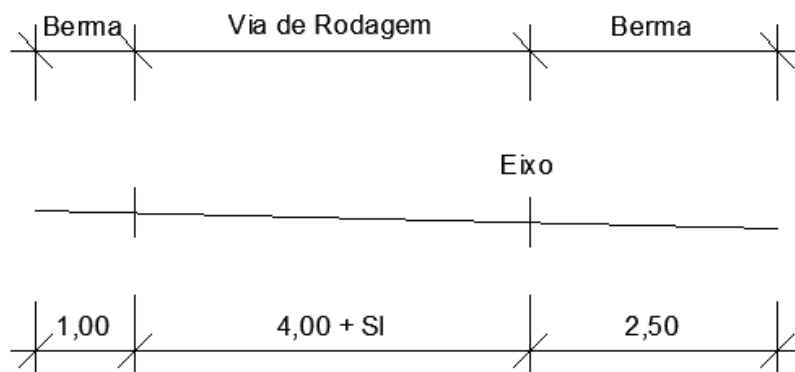


Figura 35 – Perfil Transversal Tipo dos ramos de ligação

Após a definição do eixo e atribuição do perfil tipo ao ramo de ligação, segue-se a análise da necessidade da sobrelargura, visto este carecer por apresentar raios de valor reduzido.

Para o raio de 40,0 metros:

Segundo a “Norma de Nós de Ligação”, curvas com raio igual a 35,0 metros é necessária uma sobrelargura de 2,0 metros e para raio igual a 45,0 metros, uma sobrelargura de 1,25 metros. Através de uma interpolação linear, visto que o raio da curva é de 40 metros, obtemos uma sobrelargura de 1,625 metros.

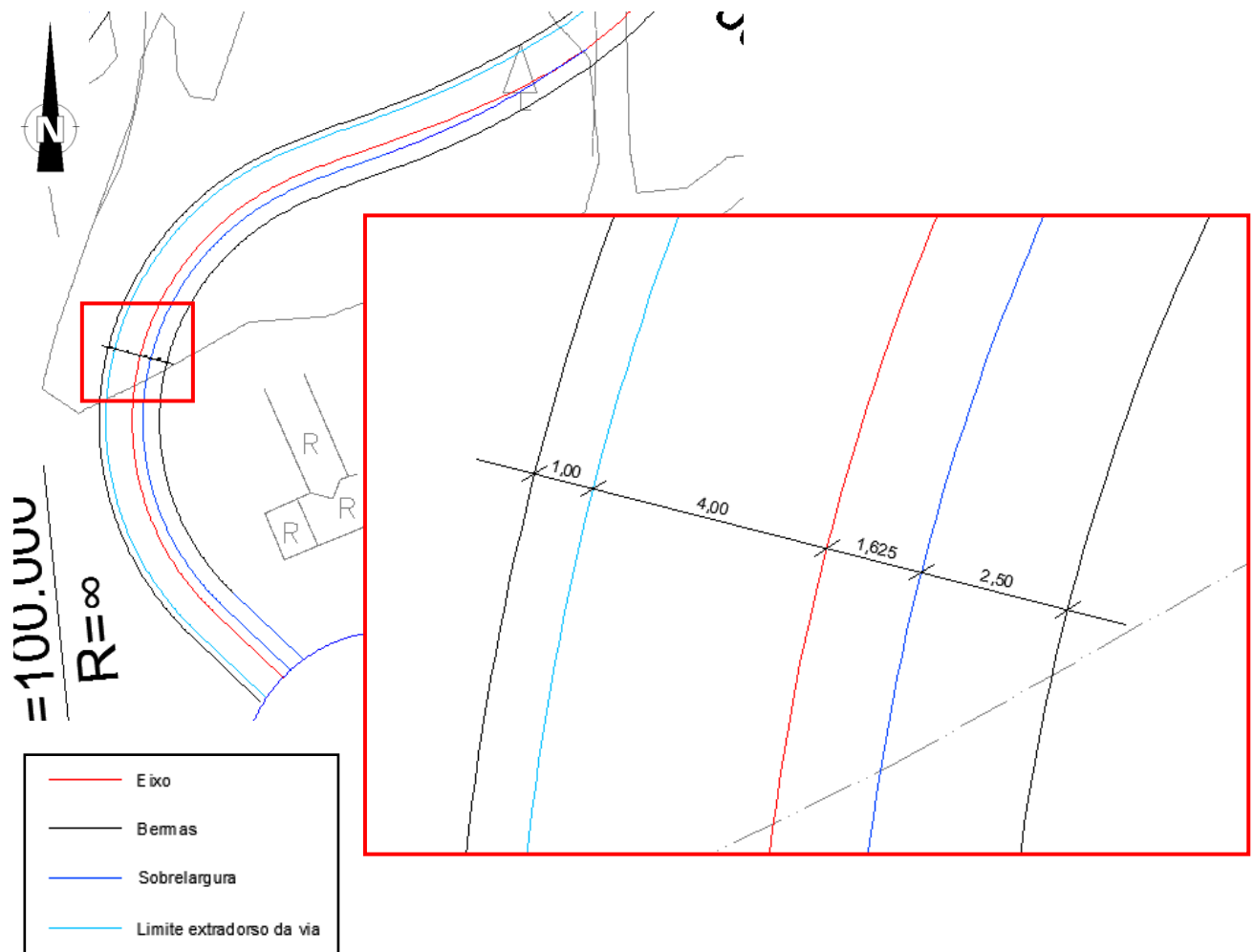


Figura 36 – Sobrelargura do raio de 40,0 metros do ramo A

Para o raio de 60,0 metros:

Segundo a “Norma de Nós de Ligação”, curvas com raio igual a 55,0 metros é necessária uma sobrelargura de 1,0 metros e para raio igual a 65,0 metros, uma sobrelargura de 0,60 metros. Através de uma interpolação linear, visto que no raio da curva é de 60,0 metros, obtemos uma sobrelargura de 0,8 metros.

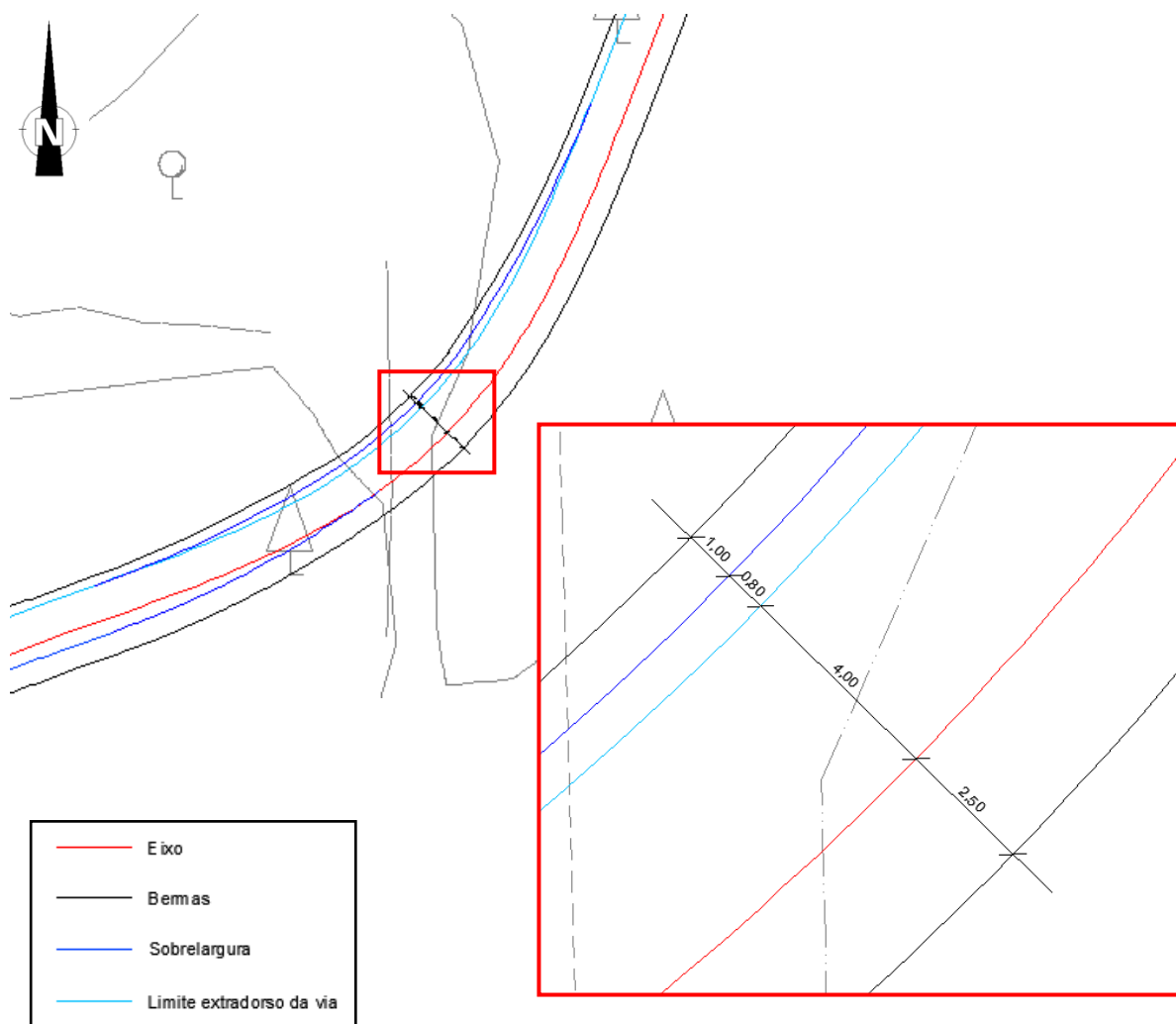


Figura 37 – Sobrelargura do raio de 60,0 metros do ramo A

As formas básicas das vias de aceleração e abrandamento podem ser do tipo paralelo ou diagonal. Sendo neste caso necessária uma via de aceleração, a norma aconselha a utilização do tipo paralelo. Perante este tipo de via, é necessário escolher e determinar certos parâmetros importantes para a correcta execução da mesma. Esses parâmetros foram extraídos das normas espanholas, onde através do conhecimento da velocidade específica do ramal e do raio mínimo da curva é possível determinar a extensão da via de aceleração incluindo Taper.

Segundo as Normas Espanholas, já que as actuais Normas Nacionais, são, nesta matéria bastantes inconsequentes.

Tabela 15 – Comprimento das Vias de aceleração – NORMAS ESPANHOLAS

Velocidade Específica do Ramal	60,0
Raio Mínimo da Curva	120,0
Velocidade de Entrada	100,0
Extensão da via de aceleração incluindo Taper	120,0
Taper	75,0
Factor Multiplicativo	0,50
Extensão da via de Aceleração final	120,0 x 0,50 = 60,0 → 0,0*

(* não necessita de via de aceleração, apenas um Taper de 75,0 metros)

Após a determinação da extensão do Taper e da via de aceleração e aplicando as expressões a seguir apresentadas, deduzidas com base na Figura 38, é possível estabelecer os raios da qual o Taper é constituído.

$$\theta = 2 \times \arctg \frac{l}{d}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{d}{\sin \theta}$$

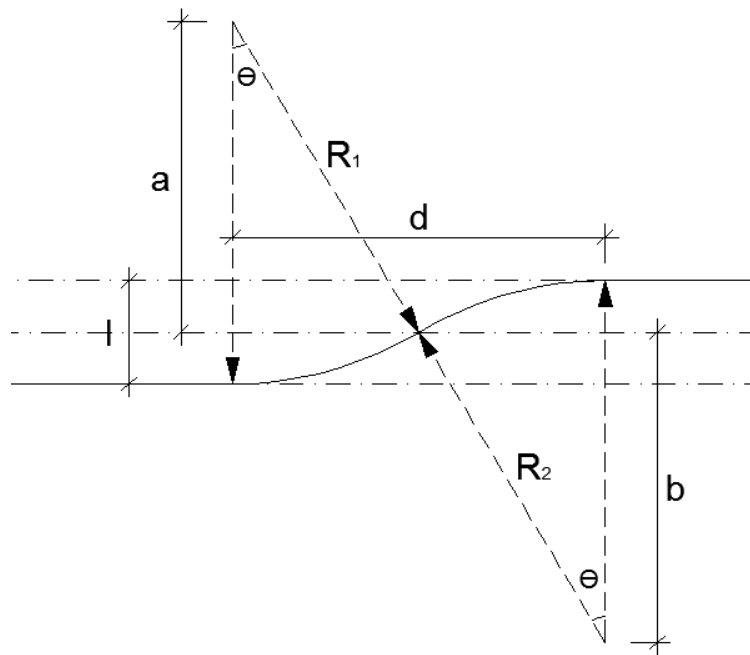


Figura 38 – Esquema que permite deduzir as expressões da determinação do Taper

Então,

$$\theta = 2 \times \arctg \frac{3,5}{75} \leftrightarrow \theta = 5,937$$

E se admitirmos que R_1 é igual a R_2 ,

$$2 \times R = \frac{75}{\sin 5,937} \leftrightarrow R_1 = R_2 = 402,661$$

Aplicando o valor calculado é possível finalizar a via de aceleração incluindo Taper, como se pode visualizar na Figura 39.

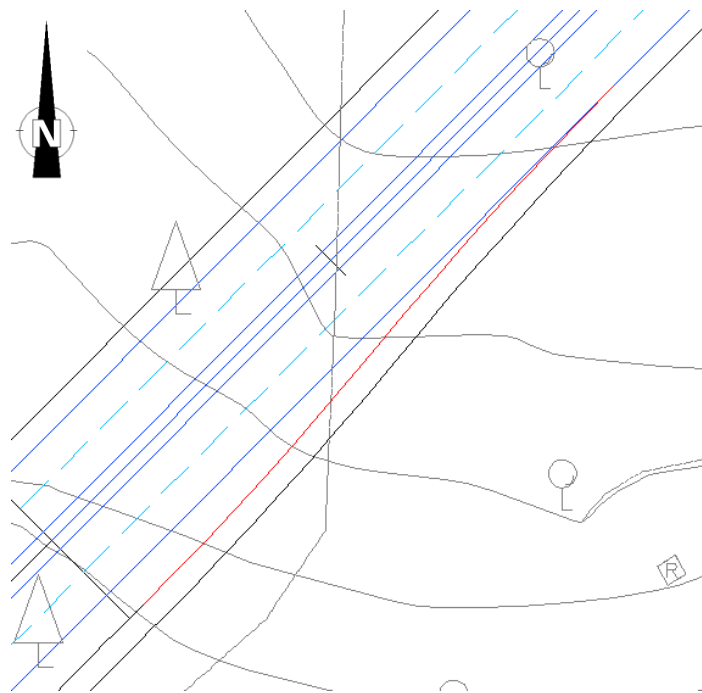


Figura 39 – Via de aceleração incluído Taper do ramo A

Analisando o traçado em planta do ramo A, deparou-se com um aspecto importante merecedor de ser referido neste trabalho. Um dos objectivos da elaboração deste traçado foi o contorno dos obstáculos oferecidos pelo terreno. Contudo, após um curto estudo prévio do perfil longitudinal e dos perfis transversais do ramo deparou-se que este atingia comprimento da base da saia do talude superiores a 40,0 metros devido a elevado desnível entre a sua rasante e o terreno e que conseqüentemente seria necessário expropriar a habitação para o construir. A solução encontrada para ultrapassar este problema, foi o recurso a um muro de suporte, espaçado 3,5 metros da habitação de modo a possibilitar a passagem de um veículo prioritário caso seja necessário.

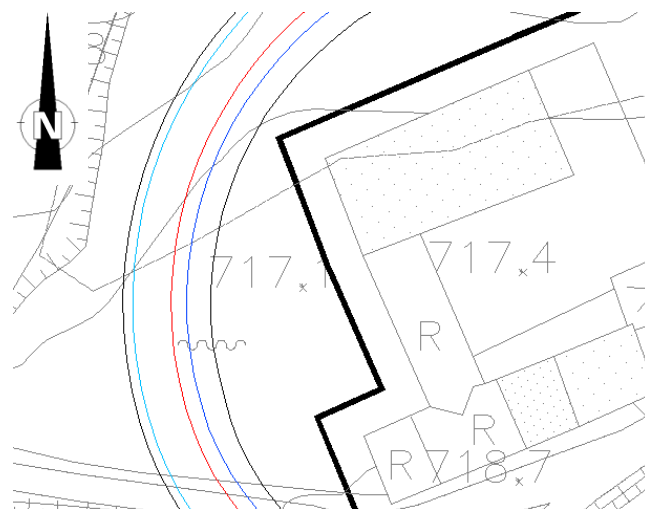


Figura 40 – Solução que salvaguarda a habitação do talude do aterro

3.4.1.3 SOBREELEVAÇÃO DO RAMO DE LIGAÇÃO

A sobrelevação das curvas contribui para a segurança e comodidade de circulação, pois compensa parte da aceleração centrífuga e favorece a percepção das curvas. Porém não se deve somente atender à sobrelevação, visto existirem outros factores que o poderão condicionar e obrigar ao não cumprimento de alguns valores definidos pela norma. Para salvaguardar tal situação, a norma prevê variações máximas da sobrelevação (%) em cada 20,0 metros de extensão em função da velocidade praticada no ramo.

Analisando o ramo no seu sentido de circulação, a primeira questão a ter em conta é saber qual a sobrelevação a aplicar na curva de raio igual a 40,0 metros. Antes de definir qualquer metodologia de resolução, é necessário admitir qual a velocidade que se poderá praticar no ramo, que neste caso se cifrará nos 30,0 Km/h e em função desta e segundo a norma, a variação máxima da sobrelevação é de 5,3% em cada 20 metros de extensão. De seguida, examinando a directriz do ramo, deparamo-nos com duas limitações na escolha da sobrelevação, sendo elas, as extensões reduzidas em alinhamento recto e em clotóide, não permitindo o disfarce teórico normalmente utilizado, sendo por isso necessário encontrar um valor que satisfaça essas limitações.

Variação da Sobrelevação no alinhamento recto

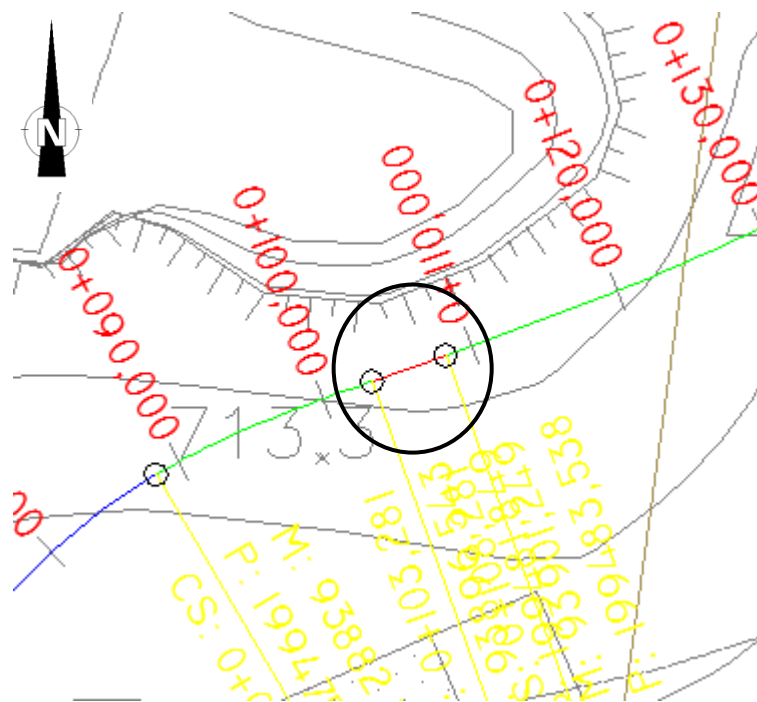


Figura 41 – Alinhamento recto em análise do ramo A

Com apenas 5,0 metros de extensão em alinhamento recto e limitados a uma variação máxima de 5,3% de sobrelevação em cada 20,0 metros de extensão, os cálculos a seguir apresentados determinam a variação máxima da sobrelevações que se pode obter:

20,0 metros	—————	5,3 %
5,0 metros	—————	ΔS
$\Delta S = 1,325 \%$		

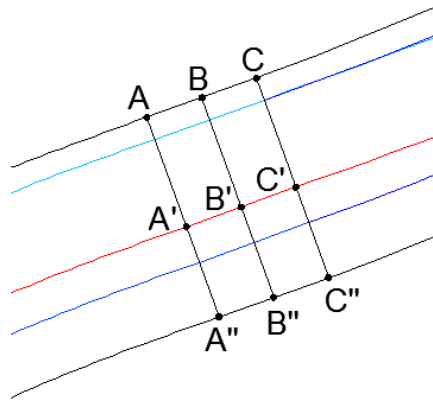


Figura 42 – Esquema auxiliar do alinhamento recto do ramo A

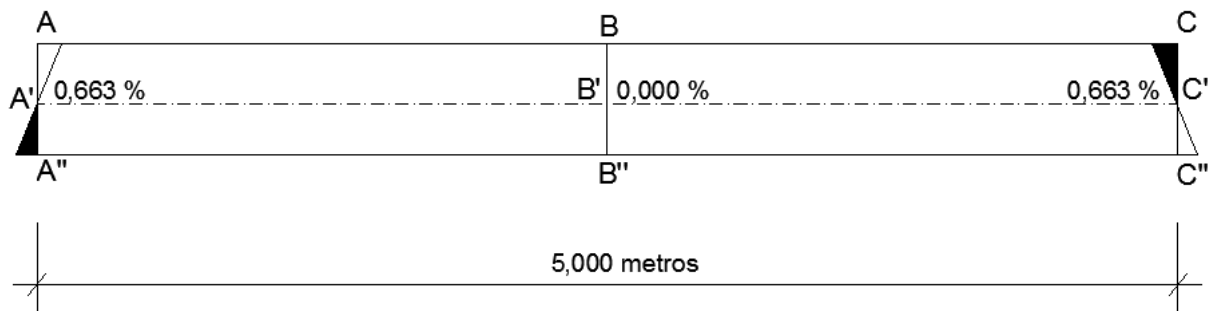


Figura 43 – Variação da Sobrelevação do alinhamento recto do ramo A

Varição da Sobrelevação na Clotóide

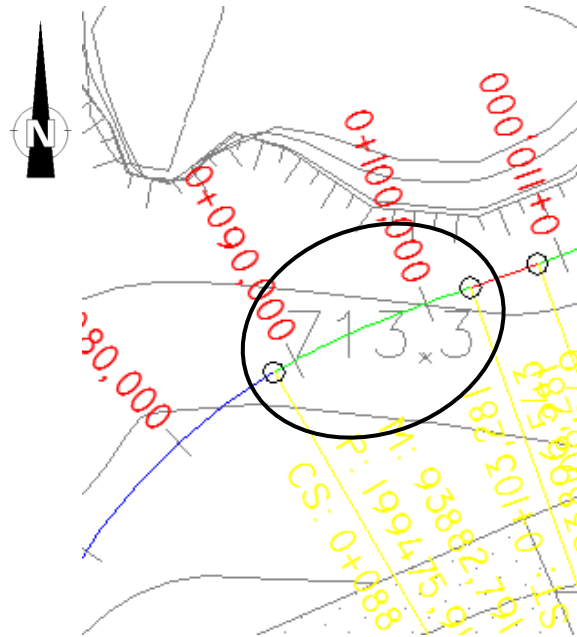


Figura 44 – Clotóide em análise do ramo A

Nas mesmas condições do disfarce anterior, apenas com a diferença que este apresenta um extensão de 15,0 metros:

20,0 metros	_____	5,3 %
15,0 metros	_____	ΔS
$\Delta S = 3,975 \%$		

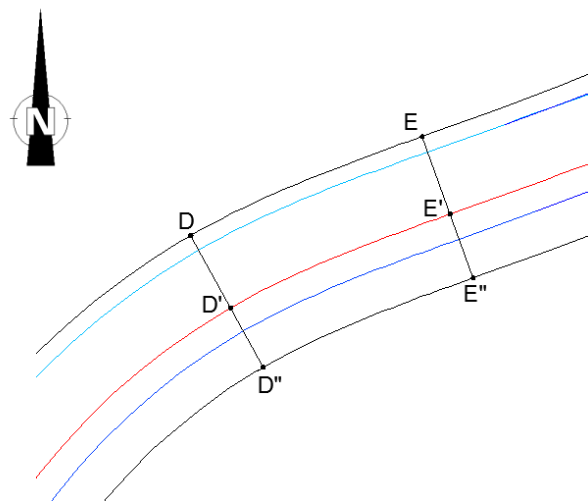


Figura 45 – Esquema auxiliar da clotóide do ramo A

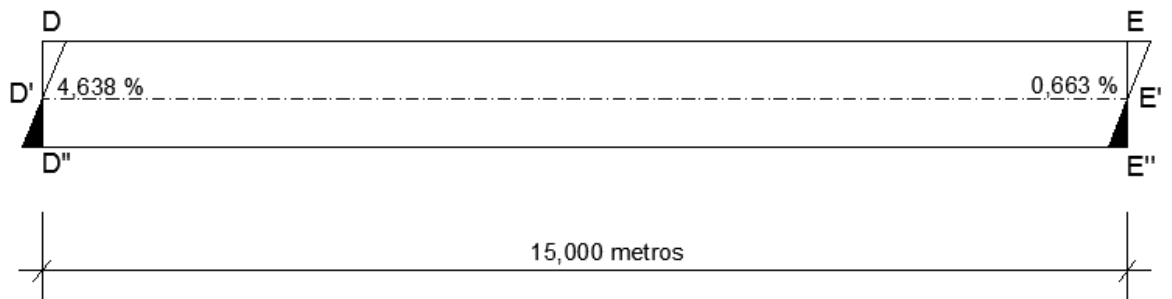


Figura 46 – Variação da Sobrelevação na clotóide do ramo A

Verificação do disfarce Curva – Rotunda

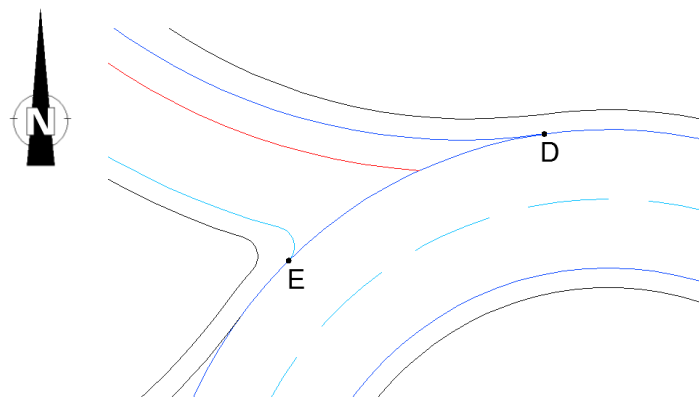


Figura 47 – Convergência do ramo A com a rotunda B

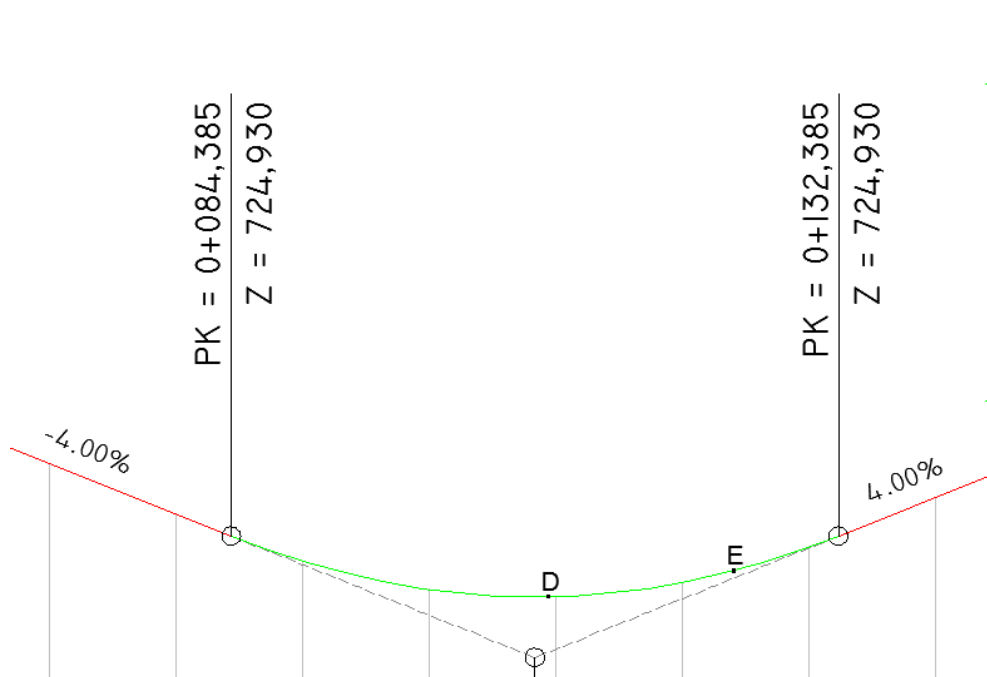


Figura 48 – Perfil Longitudinal da Rotunda B

Cota do ponto D:

$$Z_D = 724,930 - 0,040 \times (109,413 - 84,385) + \frac{(109,413 - 84,385)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_D = 724,451 \text{ m}$$

Cota do ponto E:

$$Z_E = 724,930 - 0,040 \times (124,086 - 84,385) + \frac{(124,086 - 84,385)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_E = 724,655 \text{ m}$$

A inclinação longitudinal da rotunda deve ser a igual à inclinação transversal do ramo no ponto de partida (0+000,000 Km), porém longitudinalmente a rotunda encontra-se sobre uma concordância e, de modo a simplificar, admitimos que esta varia de forma linear.

$$i = \frac{724,655 - 724,451}{124,086 - 109,413} \leftrightarrow i = 1,390 \%$$

Nas condições do disfarce anterior, apenas com a diferença que este apresenta um extensão de 14,434 metros:

20,0 metros		5,3 %
14,434 metros		ΔS
	ΔS = 3,825 %	

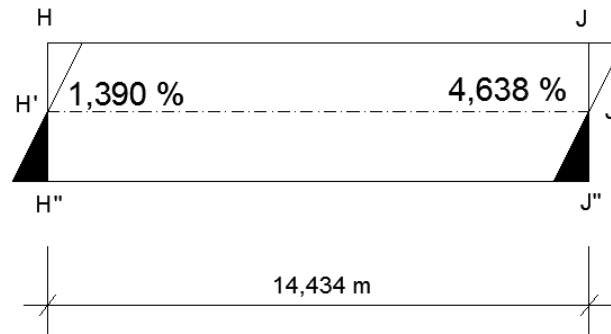


Figura 49 – Variação da sobreelevação do alinhamento recto do Ramo A que converge com a Rotunda B

Verificando,

$$\Delta S = 4,638 - 1,390 \leftrightarrow \Delta S = 3,248 \% < 3,825 \% , OK!$$

Para o raio de 60,0 metros, com uma velocidade de 45,0 Km/h, deverá segundo a norma ter uma sobreelevação de 6,0% e uma variação máxima de 4,35% em cada 20,0 metros de extensão. De seguida, realizou-se as respectivas verificações:

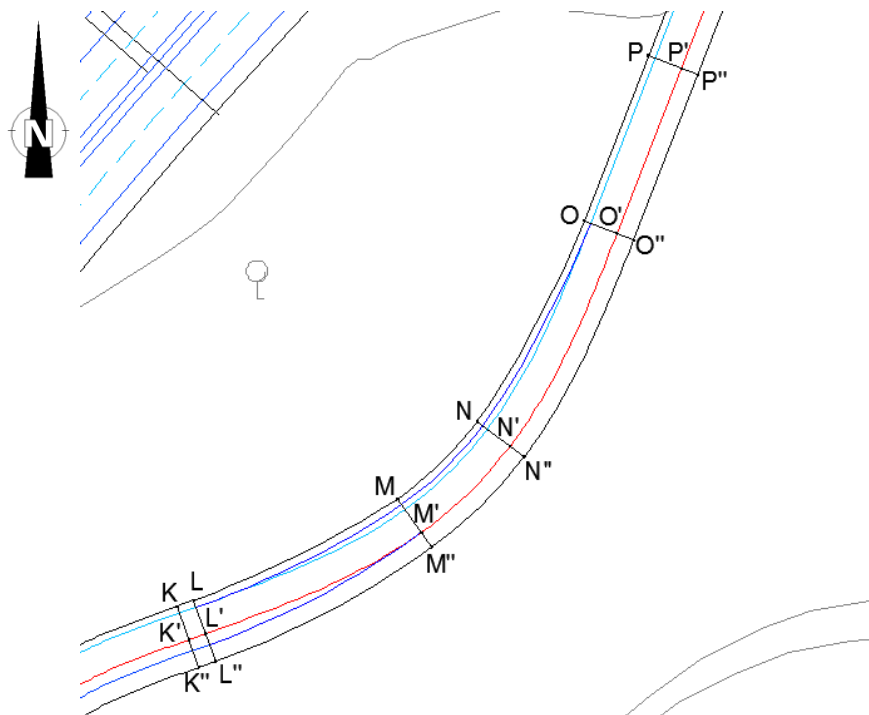


Figura 50 – Extracto do Ramo A em análise (raio de 60,0 m)

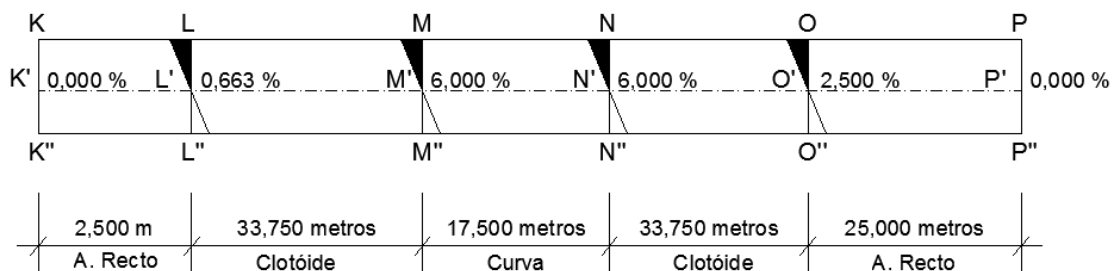


Figura 51 – Variação da Sobrelevação na curva de 60,0 m do ramo A

$$\begin{array}{l}
 33,750 \text{ metros} \quad \text{-----} \quad 6,000-0,663 \% \\
 20,000 \text{ metros} \quad \text{-----} \quad \Delta S \\
 \Delta S = 3,163 \% < 4,35 \% , \text{ OK!}
 \end{array}$$

No que diz respeito à última curva, de raio igual a 120,0 metros, aplicou-se uma sobrelevação de 4,0 %. Optou-se por utilizar um valor mais baixo devido ao facto de ser nesta fase que o ramo se insere na Estrada Principal e, assim, deste modo minimizaram-se as diferenças entre as sobrelevações das duas vias. No que diz respeito às verificações, a via não apresenta nenhuma divergência o que automaticamente através de observação visual concluiu-se que é dispensada a respectiva verificação.

3.4.1.4 PERFIL LOMGITUDINAL

Para se efectuar o estudo da rasante é necessário o conhecimento prévio do desenvolvimento do traçado em planta e, conseqüentemente, do desenvolvimento do perfil longitudinal do terreno.

Como se pode constatar através da Figura 52, este ramo encontra-se sobre um terreno bastante complexo, dificultando o seu estudo e exigindo a um maior tratamento.

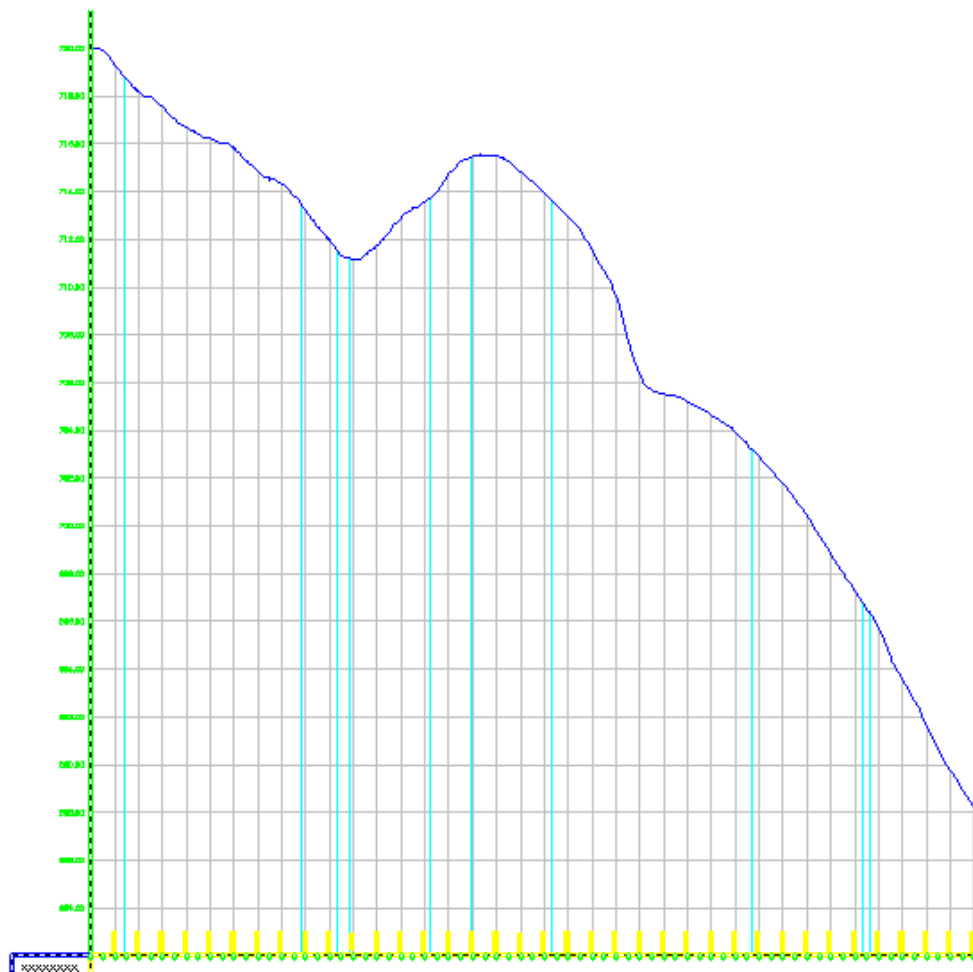


Figura 52 – Perfil Longitudinal do Terreno do ramo A

Antes de prosseguir à rasante propriamente dita, é necessário estabelecer as cotas do ponto de partida e de chegada.

PONTO DE PARTIDA (0+000,000)

O ponto de partida corresponde ao quilómetro zero do ramo e a sua entrada é estabelecida através da Rotunda B, no local onde esta perfaz uma distância à origem de 124,743 metros.

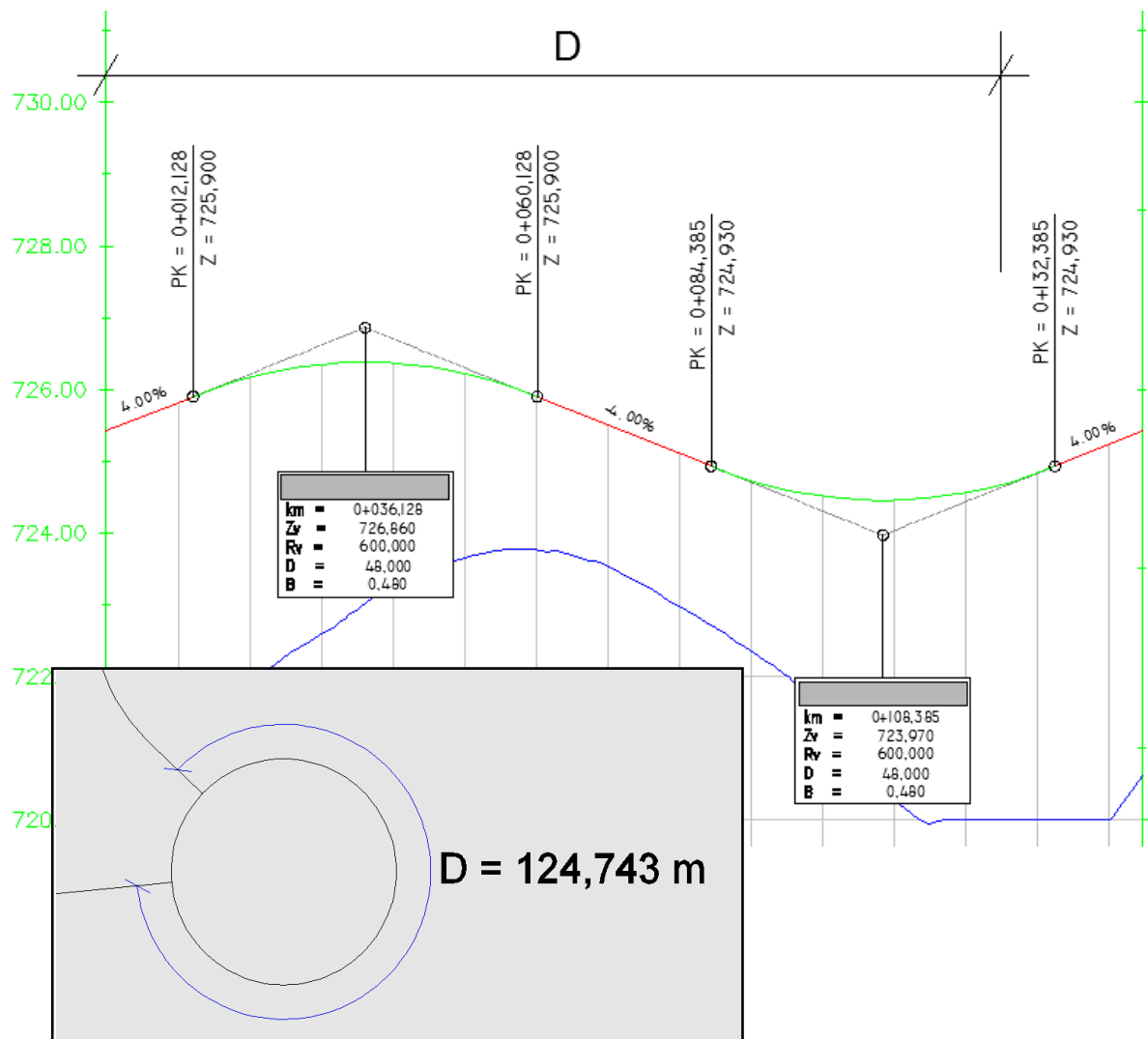


Figura 53 – Perfil Longitudinal da rotunda B. Esquema da extracção da cota de intersecção do ramo A com a rotunda B

Assim o Ramo A deverá iniciar-se à cota:

$$Z = 724,930 - (124,743 - 84,385) \times 0,04 + \frac{(124,743 - 84,385)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z = 724,673 \text{ m}$$

PONTO DE CHEGADA (0+372,853)

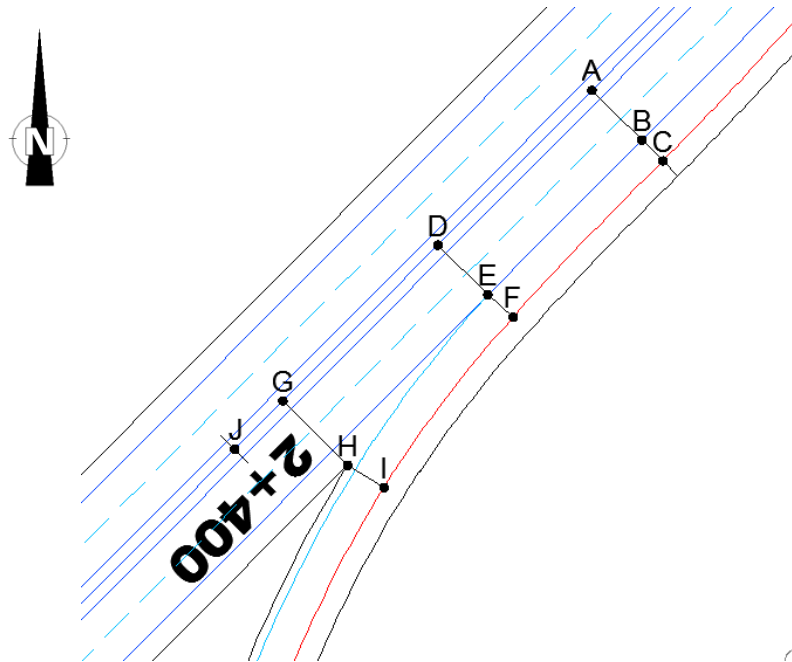


Figura 54 – Esquema auxiliar da convergência do ramo A com a estrada principal

O ponto J corresponde ao ponto 2+400,000 da Estrada Principal, tendo 695,863 metros de cota, inclinação do seu trainel de 5,00% e uma inclinação transversal constante de -2,50% no intervalo deste estudo. Sendo a distância $\overline{JA} = 59,728 \text{ m}$, $\overline{JD} = 33,974 \text{ m}$ e $\overline{JG} = 8,052 \text{ m}$ as cotas dos pontos A, D e G são:

PONTO A:

$$Z_A = 695,863 - 0,050 \times 59,728 \leftrightarrow Z_A = 692,877 \text{ m}$$

PONTO D:

$$Z_D = 695,863 - 0,050 \times 33,974 \leftrightarrow Z_D = 694,164 \text{ m}$$

PONTO G:

$$Z_G = 695,863 - 0,050 \times 8,052 \leftrightarrow Z_G = 695,460 \text{ m}$$

Para determinar os restantes pontos, é necessário definir o perfil transversal tipo da Estrada Principal. Sendo este um dado não fornecido admitiu-se o seguinte:

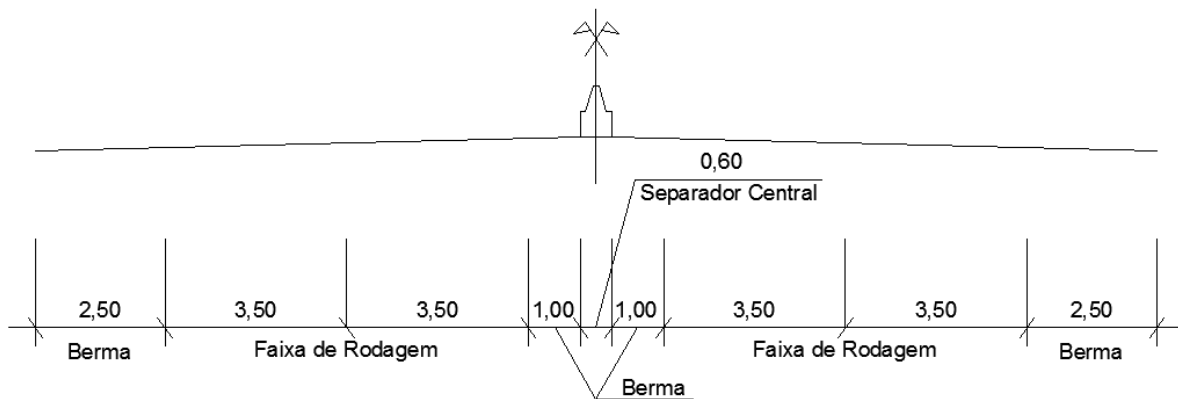


Figura 55 – Perfil Transversal Tipo da Estrada Principal

PONTO B:

$$Z_B = 692,877 - 0,000 \times 0,300 - 0,025 \times 8,000 \leftrightarrow Z_B = 692,677 \text{ m}$$

PONTO C:

$$Z_C = 692,677 - 0,025 \times 3,500 \leftrightarrow Z_C = 692,590 \text{ m}$$

PONTO E:

$$Z_E = 694,164 - 0,000 \times 0,300 - 0,025 \times 8,000 \leftrightarrow Z_E = 693,964 \text{ m}$$

PONTO F:

Este ponto localiza-se numa zona de variação linear da curva para o alinhamento recto, mais propriamente na clotóide, por isso é necessário determinar a inclinação correspondente:

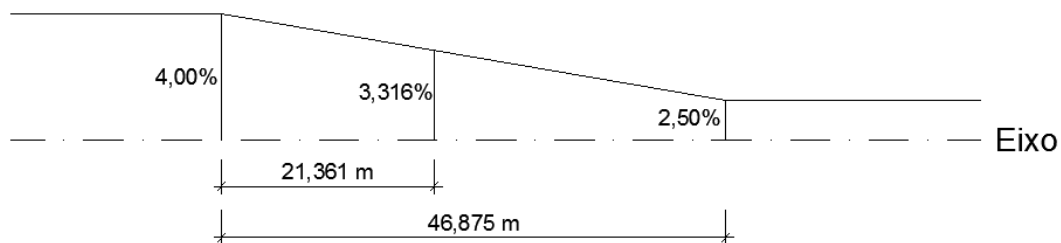


Figura 56 – Esquema da determinação da sobreelevação correspondente ao ponto F

Assim, a cota do ponto F é:

$$Z_F = 693,964 - 0,03316 \times 4,000 \leftrightarrow Z_F = 693,831 \text{ m}$$

PONTO H:

$$Z_H = 695,490 - 0,000 \times 0,300 - 0,025 \times 10,500 \leftrightarrow Z_H = 695,228 \text{ m}$$

PONTO I:

Este ponto localiza-se numa zona de variação linear da curva para o alinhamento recto, mais propriamente na clotóide, por isso é necessário determinar a inclinação correspondente:

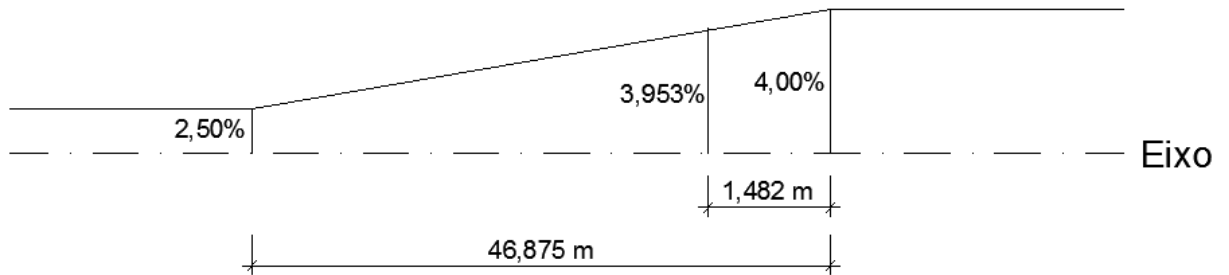


Figura 57 – Esquema da determinação da sobrelevação correspondente ao ponto I

Assim, a cota do ponto I é:

$$Z_I = 695,228 - 0,03953 \times 5,000 \leftrightarrow Z_I = 695,030 \text{ m}$$

Após a determinação dos pontos de partida e de chegada, o procedimento final foi a simples união dos mesmos. Contudo, verificou-se que a inclinação do trainel se aproxima do máximo regulamentado pela norma. Porém e após muitas tentativas e reformulações no ramo chegou-se a uma solução que provavelmente será a ideal. A inexperiência nos trabalhos desta natureza, que agrupa determinados factores dentro dos quais a economia, pois este não atinge a obra de arte presente e se o dotar com maior extensão não ganharia redução de inclinação que justifique tal investimento.

O ponto inicial com o trainel traçado foi admitido com uma pequena concordância de raio 200,00 metros. Neste intervalo de extensão, o ramo encontra-se na prática de velocidade reduzidas visto ser o local de saída da rotunda.

Numa fase final e de modo a completar a rasante do ramo, aplicou-se uma concordância de 600,00 metros e para uma velocidade de 60 Km/h podem verificar que a aceleração vertical não excede os 0,5 m/s^2 :

$$\frac{v^2}{R} < 0,5 \text{ m/s}^2 \rightarrow \frac{\left(\frac{60}{3,6}\right)^2}{600} < 0,463 \text{ m/s}^2$$

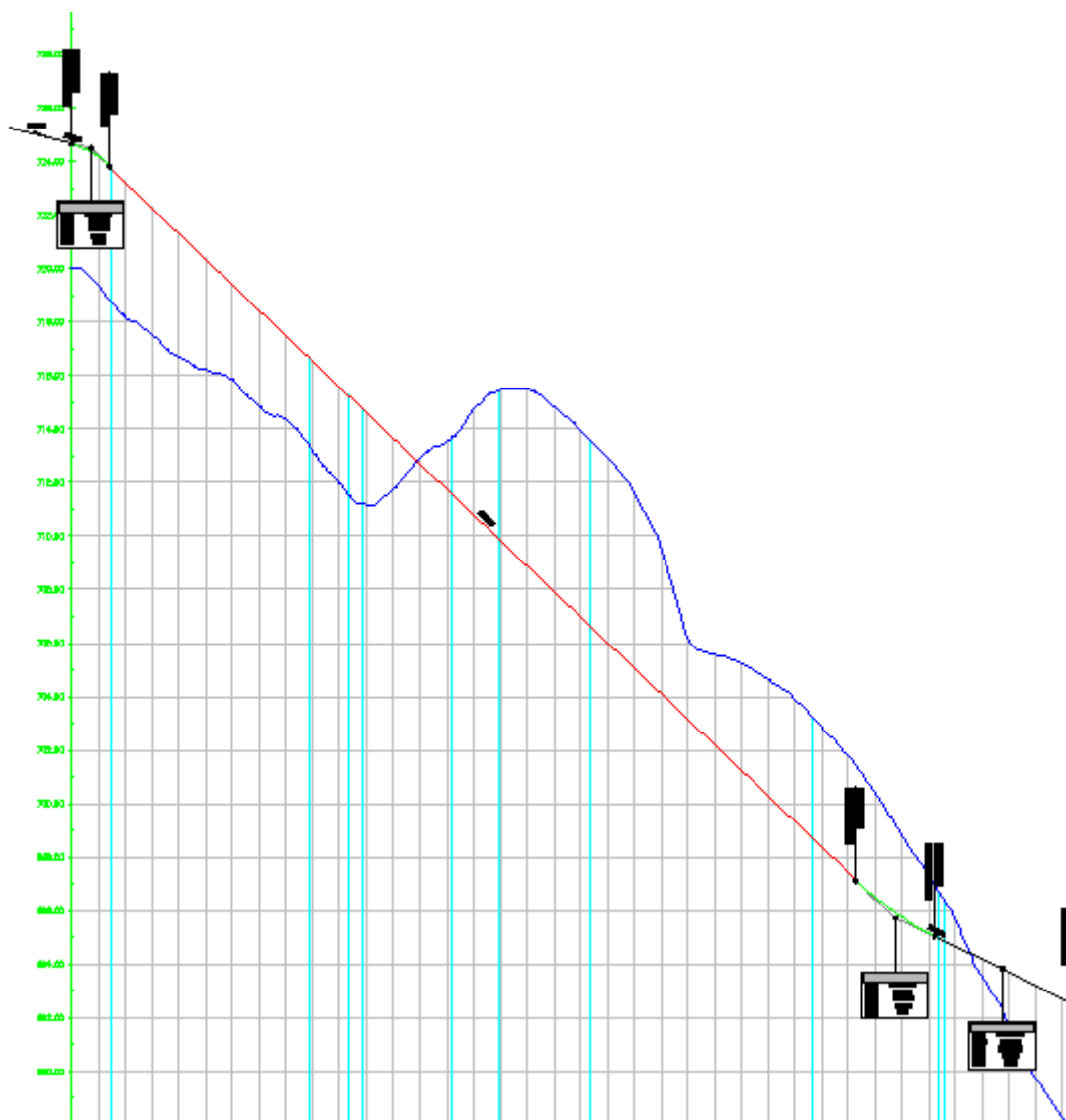


Figura 58 – Perfil Longitudinal do ramo A

3.4.2 RAMO B

As alíneas a seguir apresentadas, definem os restantes ramos de forma mais simplificada comparativamente ao ramo A. Não se trata da desvalorização dos ramos mas sim, uma forma de evitar alguma repetição na escrita deste trabalho, visto todos seguirem as mesmas normas e metodologias para a sua execução.

O ramo B, localizado mais a sul do ramo A, de um modo geral não apresentou complexidades na definição do seu traçado. Contudo, após a determinação do seu perfil longitudinal deparamo-nos com uma situação delicada no que diz respeito à sua drenagem. Este assunto irá ser abordado superficialmente, pois não é objectivo deste trabalho o tratamento detalhado dos trabalhos desta natureza.

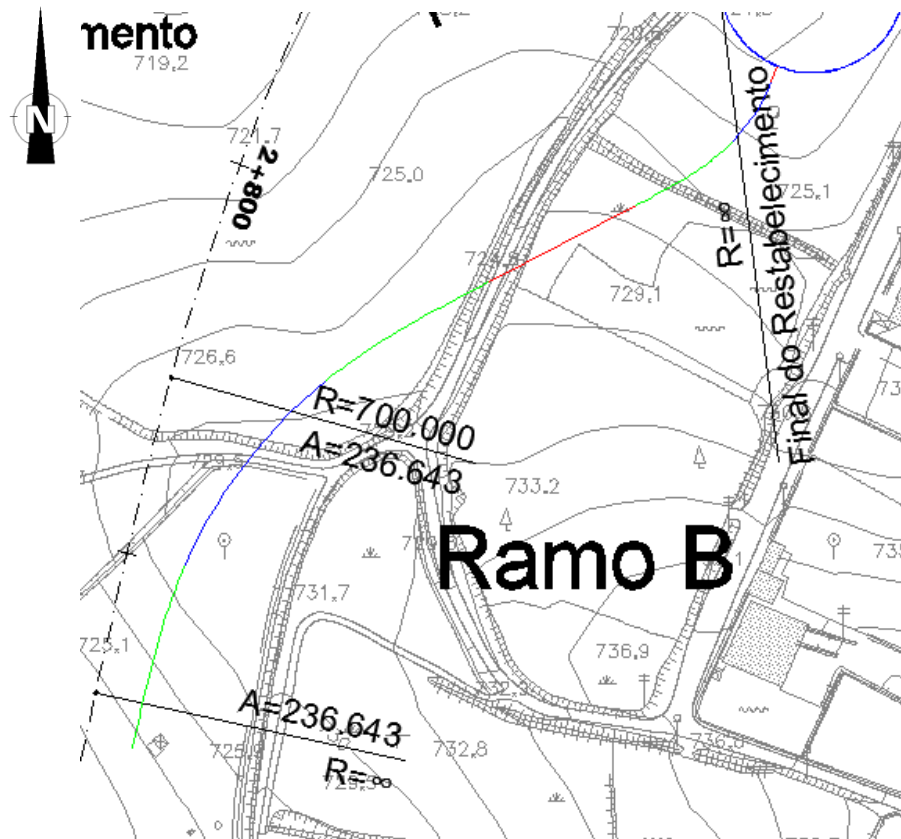


Figura 59 – Ramo B

3.4.2.1 DIRECTRIZ

Este ramo é constituído por duas curvas de sentidos contrários, por três clotóides e por dois pequenos alinhamentos rectos, o que perfaz um total de 243,465 metros de extensão com início na saída da Estrada Principal e fim na Rotunda B. A primeira curva é dotada com um valor de raio mais elevado, 120,0 metros, para assim minimizar o impacto sofrido pela redução de velocidade que os utentes deveram praticar quando pretendem sair através do ramo da Estrada Principal. Para a segunda e última curva, foi escolhido um raio de 45,0 metros foi para “obrigar” os utentes reduzirem a velocidade e, também para lhes fornecer uma maior percepção de que se aproxima uma zona de grande probabilidade de paragem.

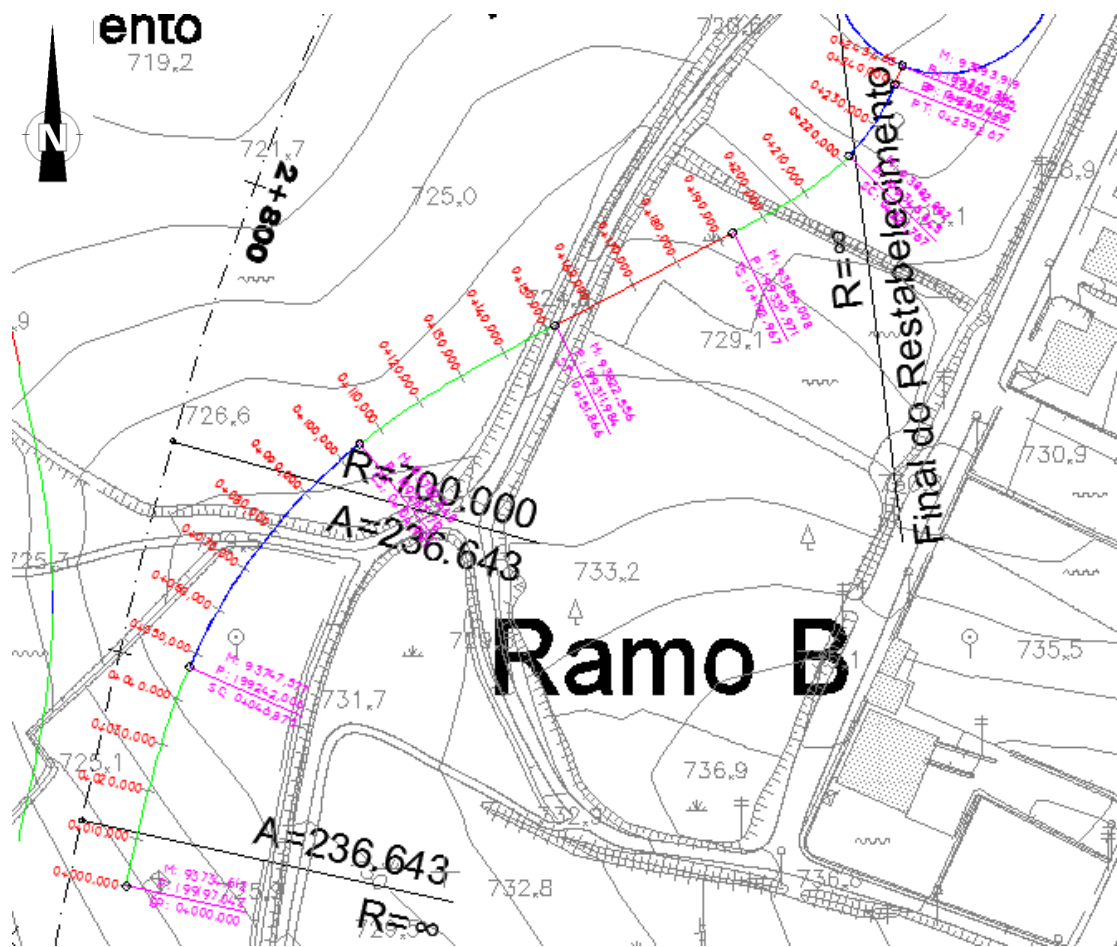


Figura 60 – Directriz do ramo B

A tabela 16 mostra alguns parâmetros importantes calculados para a correcta definição do ramo.

Tabela 16 – Parâmetros da directriz do ramo B

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	-10,000	93732,472	199187,274					
			2,140	9,768	10,000	13,730	13,730	
0 +	0,000	93734,612	199197,042					

Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	0,000	93734,612	199197,042					
0 +	46,875	93747,577	199242,006	75,000	0,195	46,875	3,043	123,043

Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - 2\tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva M P		
0 +	46,875	93747,577	199242,006					
0 +	104,989	93782,548	199287,712	120,000	30,831	58,114	93857,585	199194,067

Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	104,989	93782,548	199287,712					
0 +	151,864	93822,556	199311,984	75,000	0,195	46,875	3,043	123,043

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	151,864	93822,556	199311,984					
0 +	192,965	93859,008	199330,971	36,452	18,987	41,101	69,429	69,429

Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	192,965	93859,008	199330,971					
0 +	221,765	93882,882	199346,845	36,000	0,320	28,800	3,049	48,049

Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - 2\tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva M P		
0 +	221,765	93882,882	199346,845					
0 +	239,292	93892,356	199361,423	45,000	24,797	17,528	93850,594	199378,190

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	239,292	93892,356	199361,423					
			1,563	3,901	4,202	24,260	24,260	
0 +	243,495	93893,919	199365,324					

3.4.2.2 PLANTA

Para a curva de raio 45,0 metros foi necessário dota-la de uma largura adicional de 1,250 metros, o que perfaz uma largura total da faixa de 5,250 metros.

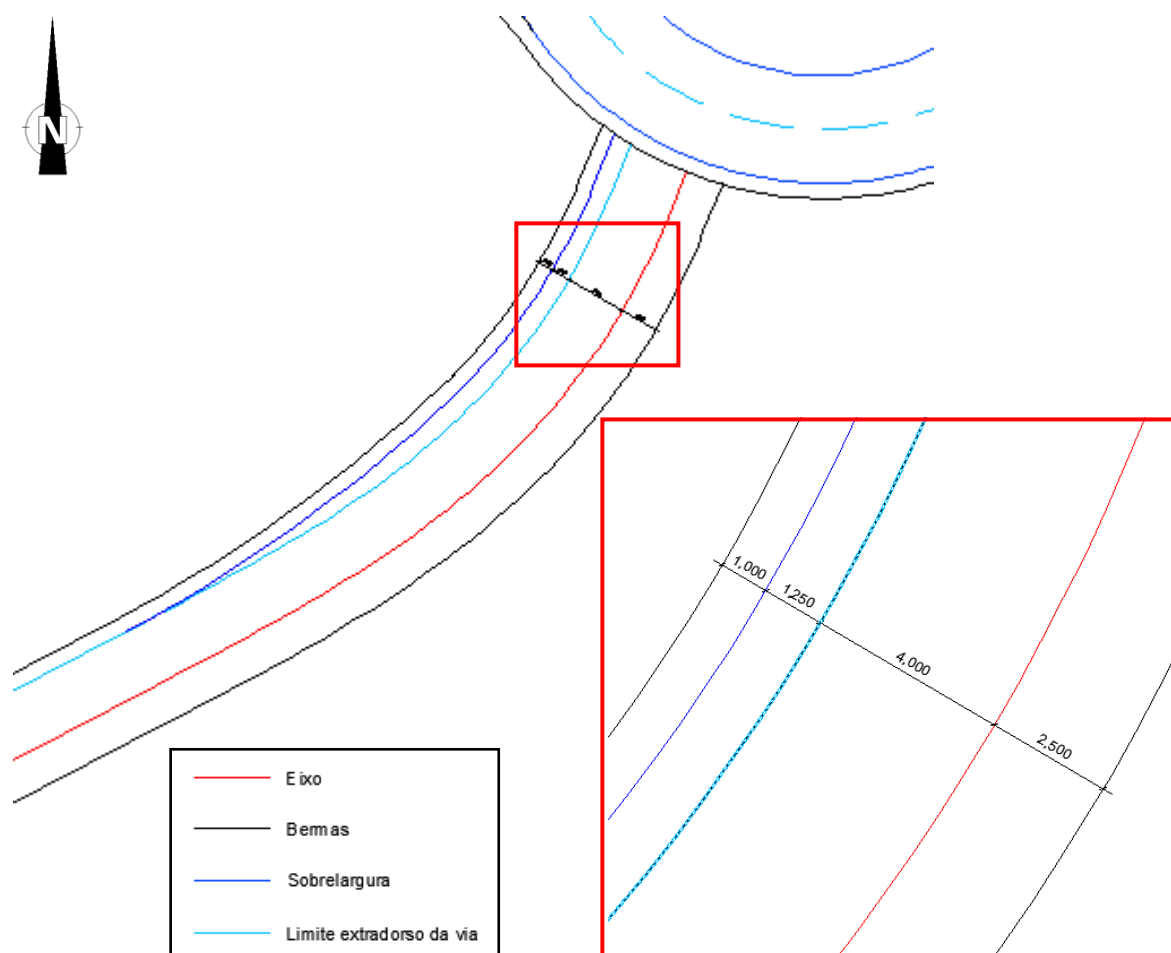


Figura 61 – Sobrelargura do raio de 45,0 metros do ramo B

No que diz respeito à via de abrandamento, optou-se por utilizar uma do tipo paralelo. É importante realçar que esta opção vai contra os argumentos económicos defendidos ao longo deste trabalho, já

que as de tipo diagonal são menos onerosas. Em todo o caso a opção por via de tipo paralelo consubstancia-se nas maiores vantagens de segurança e utilização.

Segundo as Normas Espanholas, já que uma vez mais as Normas de Nós Ligação são claramente demasiado resumidas.

Tabela 17 – Comprimento da de Abrandamento – NORMAS ESPANHOLAS

Velocidade Específica do Ramal	60,0 Km/h
Raio Mínimo da Curva	120,0 m
Velocidade de Entrada	100,0 Km/h
Extensão da via de Abrandamento incluindo Taper	80
Taper	75,0
Factor Multiplicativo	1,35
Extensão da via de Abrandamento final	$80,0 \times 1,35 = 108,0 \longrightarrow 33,0^*$ (* 75,0 metros da extensão total é a extensão do Taper)

Então,

$$\theta = 2 \times \arctg \frac{3,5}{75} \leftrightarrow \theta = 5,937$$

E se admitirmos que R_1 é igual a R_2 ,

$$2 \times R = \frac{75}{\sin 5,937} \leftrightarrow R_1 = R_2 = 402,661$$

Os símbolos têm o mesmo significado do utilizado na Figura 38.

Aplicando o valor calculado é possível finalizar a via de abrandamento incluindo Taper como se pode visualizar na figura 62.

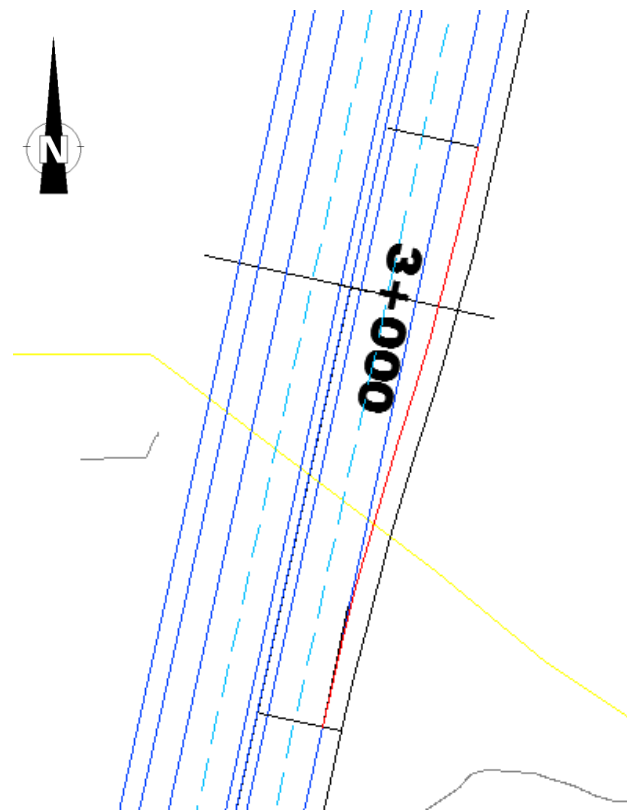


Figura 62 – Via de abrandamento incluindo Taper do ramo B

3.4.2.3 SOBREELEVAÇÃO DO RAMO DE LIGAÇÃO

Pelas mesmas razões apontadas no ramo anterior, admitiu-se 4,0 % de sobrelevação para o raio de 120,0 metros. Para o raio de 45,0 metros é necessário determinar a inclinação que o ramo deve ter de modo a apresentar uma ligação contínua com a rotunda e de modo a verificar a variação máxima imposta pela norma.

Sobreelevação no ponto comum à rotunda

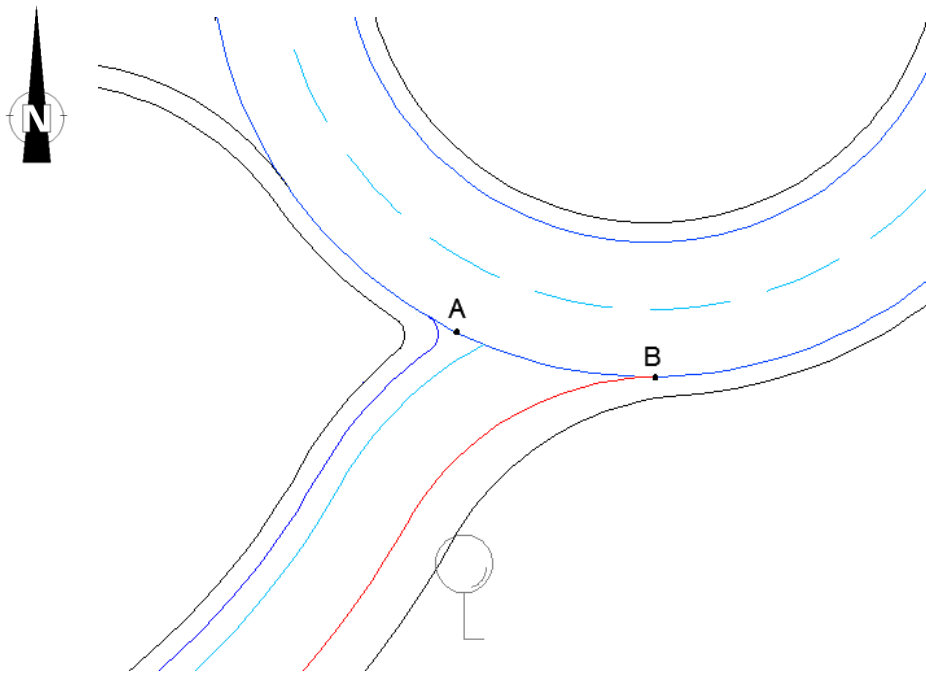


Figura 63 – Intersecção da rotunda B com o ramo B

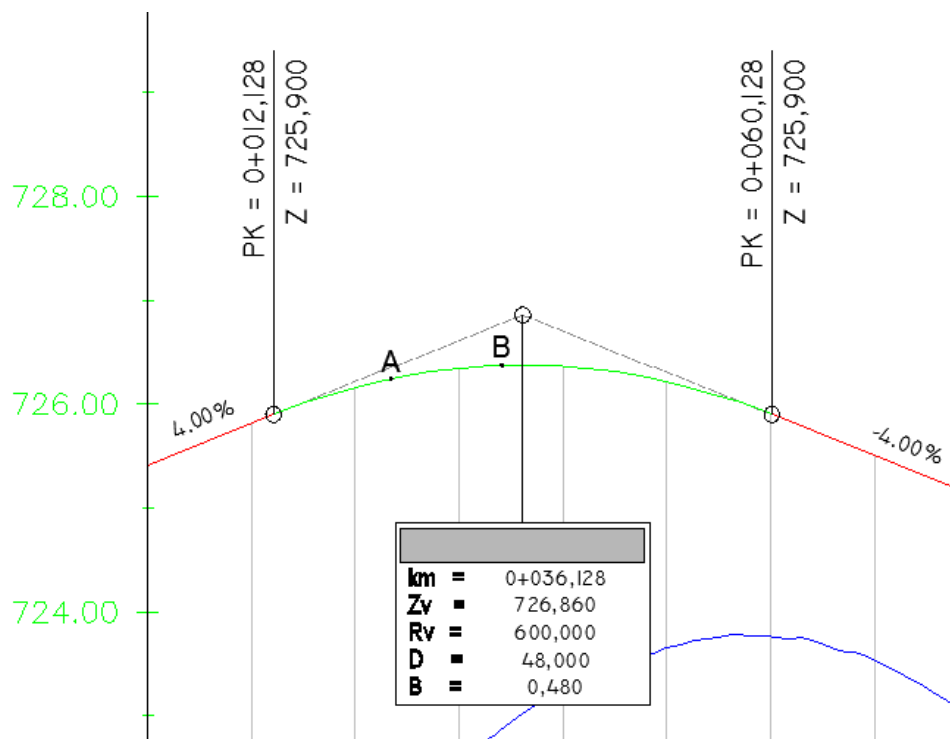


Figura 64 – Perfil Longitudinal da rotunda B – Intersecção com o ramo B

Cota do ponto A:

$$Z_A = 725,900 + 0,040 \times (23,441 - 12,128) - \frac{(23,441 - 12,128)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_A = 726,246 \text{ m}$$

Cota do ponto B:

$$Z_B = 725,900 + 0,040 \times (34,120 - 12,128) - \frac{(34,120 - 12,128)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_B = 726,377 \text{ m}$$

A inclinação longitudinal da rotunda deve ser igual à inclinação transversal do ramo neste ponto, porém longitudinalmente a rotunda encontra-se sobre uma concordância e, de modo a simplificar admitimos que esta varia de forma linear.

$$i = \frac{726,377 - 726,246}{34,120 - 23,441} \leftrightarrow i = 1,227 \%$$

Variação máxima admissível

A variação máxima da sobrelevação em cada 20,0 metros de extensão para velocidades 25 a 30 Km/h é de 5,3 %.

20,0 metros	—————	5,3 %
4,198 metros	—————	ΔS
ΔS = 1,112 %		

Para uma visualização mais adequada da sobrelevação ao longo do ramo, dividir-se-à em duas parte:

1ª Parte (raio de 120,0 metros)

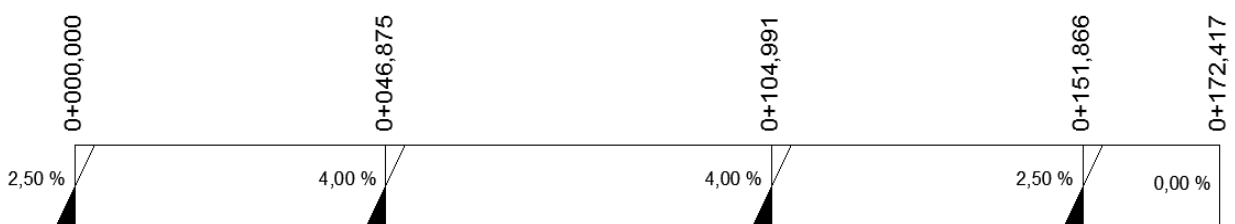


Figura 65 – Variação da sobrelevação do ramo B – Primeira Parte

2ª Parte (raio de 45,0 metros)

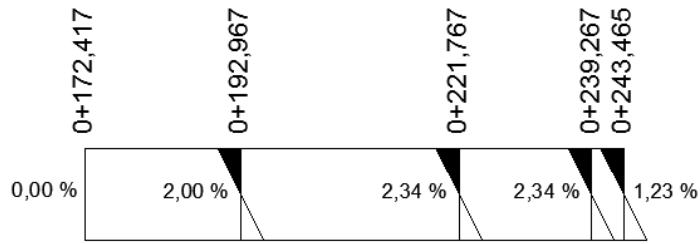


Figura 66 – Variação da sobre-elevação do ramo B – Segunda Parte

3.4.2.4 PERFIL LONGITUDINAL

Para se efectuar o estudo da rasante é necessário o conhecimento prévio do desenvolvimento do traçado em planta e, conseqüentemente, do desenvolvimento do perfil longitudinal do terreno.

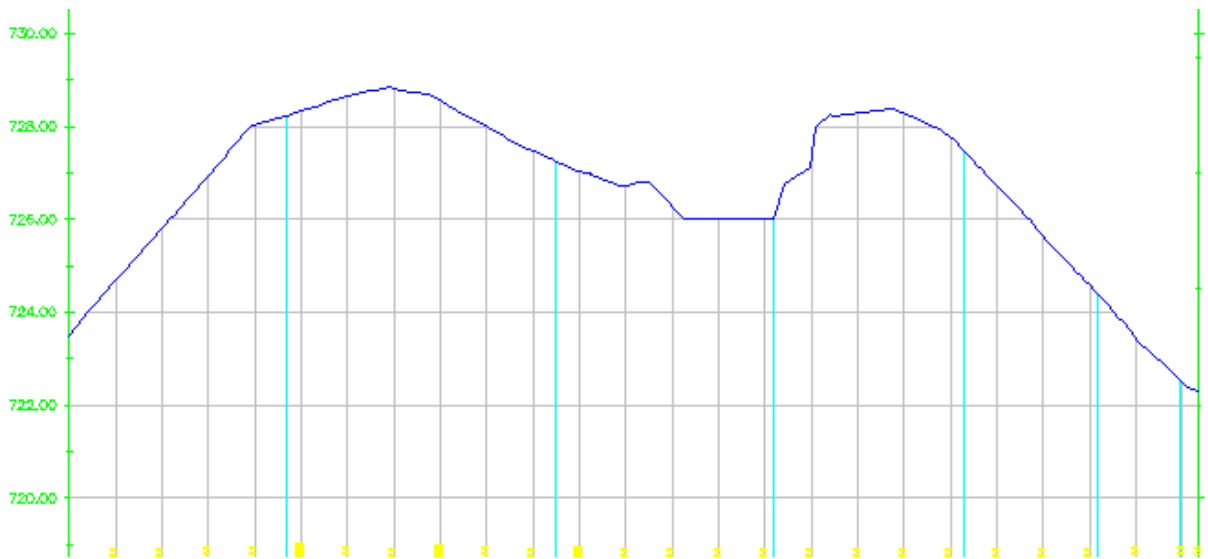


Figura 67 – Perfil Longitudinal do terreno do ramo B

Antes de prosseguir à rasante propriamente dita, é necessário estabelecer as cotas do ponto de partida e de chegada.

PONTO DE PARTIDA (0+000,000)

O ponto de partida do ramo situa-se no início da divergência que faz com a Estrada Principal, mais precisamente no quilómetro 2+946,549 desta. Para tal, é necessário determinar a cota correspondente ao respectivo quilómetro de modo a possibilitar a posterior determinação das cotas do ramo.

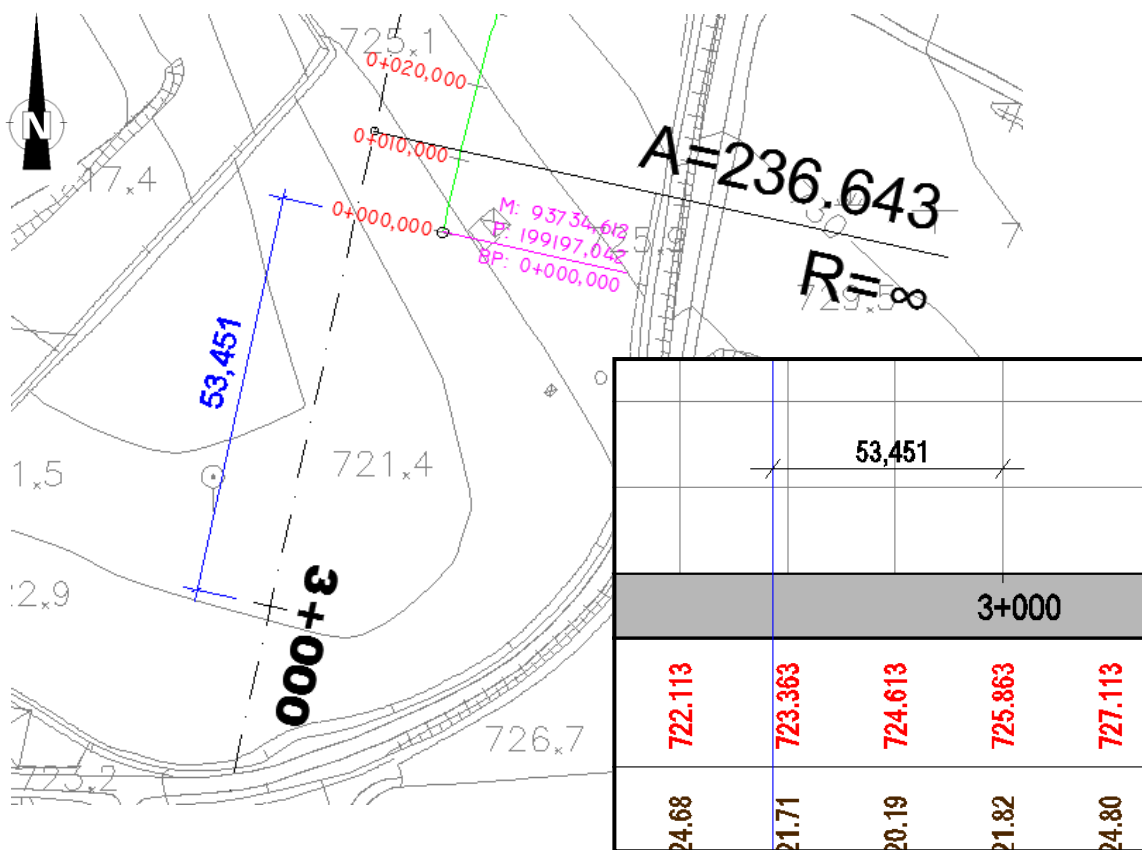


Figura 68 – Esquema da determinação da cota da estrada principal correspondente ao início do ramo B

$$Z = 725,863 - 0,050 \times 53,451 \leftrightarrow Z = 723,190 \text{ m}$$

De seguida, determina-se as cotas de um conjunto de pontos de modo a garantir a correcta continuidade do ramo antes da total divergência entre ambos.

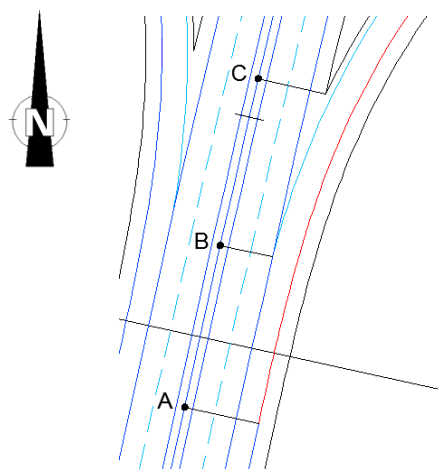


Figura 69 – Esquema auxiliar para determinação das cotas do eixo da estrada principal – Ramo B

$$Z_A = 723,190 \text{ m}$$

$$Z_B = 723,190 - 0,050 \times 25,939 \leftrightarrow Z_B = 721,893 \text{ m}$$

$$Z_C = 723,190 - 0,050 \times 52,740 \leftrightarrow Z_C = 720,553 \text{ m}$$

Visualizando o perfil longitudinal da Estrada Principal, podemos verificar que tanto o ponto A, B e C se encontram numa zona de variação de sobrelevação, sendo necessário determiná-las através de metodologias lineares.

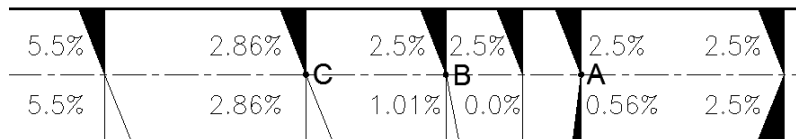


Figura 70 – Variação da Sobrelevação da Estrada Principal – Ramo B

Tendo por base o Perfil Transversal Tipo atrás definido, segue-se a determinação das cotas dos bordos mais exteriores da Estrada Principal:

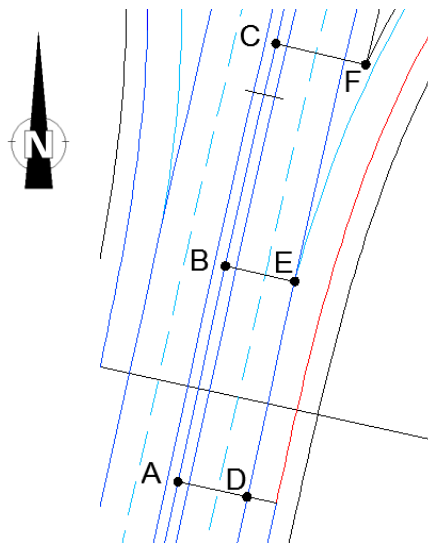


Figura 71 – Esquema auxiliar para a determinação das cotas do bordo direito da estrada principal – Ramo B

$$Z_D = 723,190 - 0,000 \times 0,300 - 0,025 \times 8,000 \leftrightarrow Z_D = 722,990 \text{ m}$$

$$Z_E = 721,893 - 0,000 \times 0,300 - 0,025 \times 8,000 \leftrightarrow Z_E = 721,693 \text{ m}$$

$$Z_F = 720,553 - 0,000 \times 0,300 - 0,0286 \times 10,500 \leftrightarrow Z_F = 720,253 \text{ m}$$

Com base na sobrelevação do ramo definida anteriormente, foi possível determinar as cotas dos pontos em que o ramo deve obedecer. Na fase inicial do ramo, ou seja, a perpendicular ao eixo da Estrada Principal no ponto A a via deve garantir a mesma inclinação. O mesmo não acontece com os restantes pontos, pois o próprio ramo terá que transcrever a sua sobrelevação onde as perpendiculares correspondentes ao ponto C já se encontrará em curva (4,0%) e as do B na clotóide onde é necessário determinar a inclinação correspondente.

0,0 metros	_____	2,5 %
46,875 metros	_____	4,0 %
25,686 metros	_____	Se

Se = 3,32 %

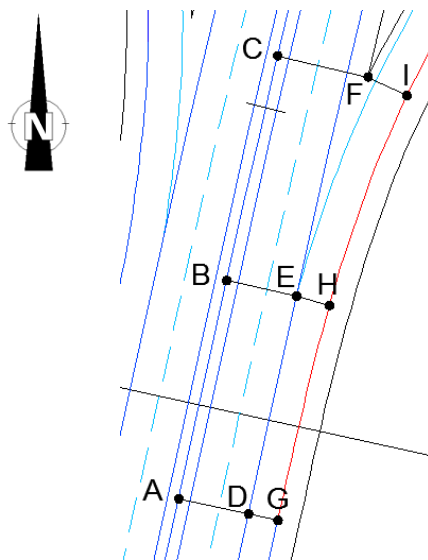


Figura 72 – Esquema auxiliar para a determinação das cotas do ramo B

$$Z_G = 722,990 - 0,025 \times 3,500 \leftrightarrow Z_G = 722,903 \text{ m}$$

$$Z_H = 721,693 - 0,0332 \times 4,000 \leftrightarrow Z_H = 721,560 \text{ m}$$

$$Z_I = 720,253 - 0,040 \times 5,000 \leftrightarrow Z_I = 720,053 \text{ m}$$

PONTO DE CHEGADA (0+243,465)

O ponto de partida corresponde ao quilómetro zero do ramo e a sua entrada é estabelecida através da Rotunda B, onde esta perfaz uma extensão de 124,743 metros.

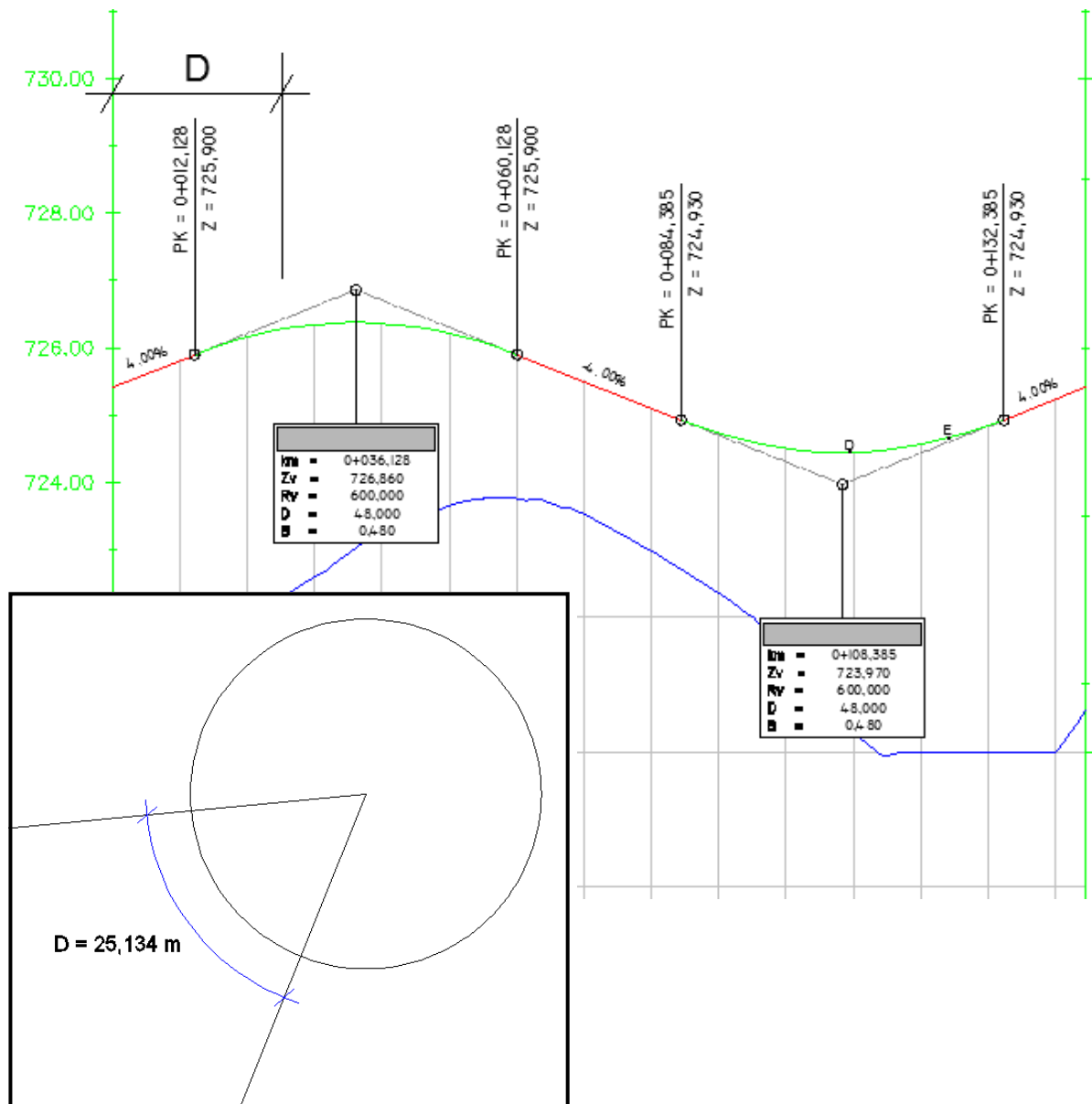


Figura 73 – Perfil Longitudinal da Rotunda B – Esquema auxiliar para a extração das cotas coincidente com o ramo B

Assim o Ramo B deverá finalizar-se à cota:

$$Z = 725,900 + (25,134 - 12,128) \times 0,04 - \frac{(25,134 - 12,128)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z = 726,279 \text{ m}$$

Os pontos de partida atrás definidos obrigam a rasante a transcrever-se numa concordância de raio 4487,075 metros. Como a cota do ponto de chegada é superior á de partida é necessário dotar a rasante com uma concordância côncava com um raio de 600,000 metros, seguindo-se a verificação para uma velocidade de 60,0 Km/h.

$$\frac{v^2}{R} < 0,5 \text{ m/s}^2 \rightarrow \frac{\left(\frac{60}{3,6}\right)^2}{600} < 0,463 \text{ m/s}^2$$

Junto à meta final da rasante e como nesta zona as velocidades praticadas são reduzidas, optou-se por um raio ligeiramente menor de 400,00 metros.

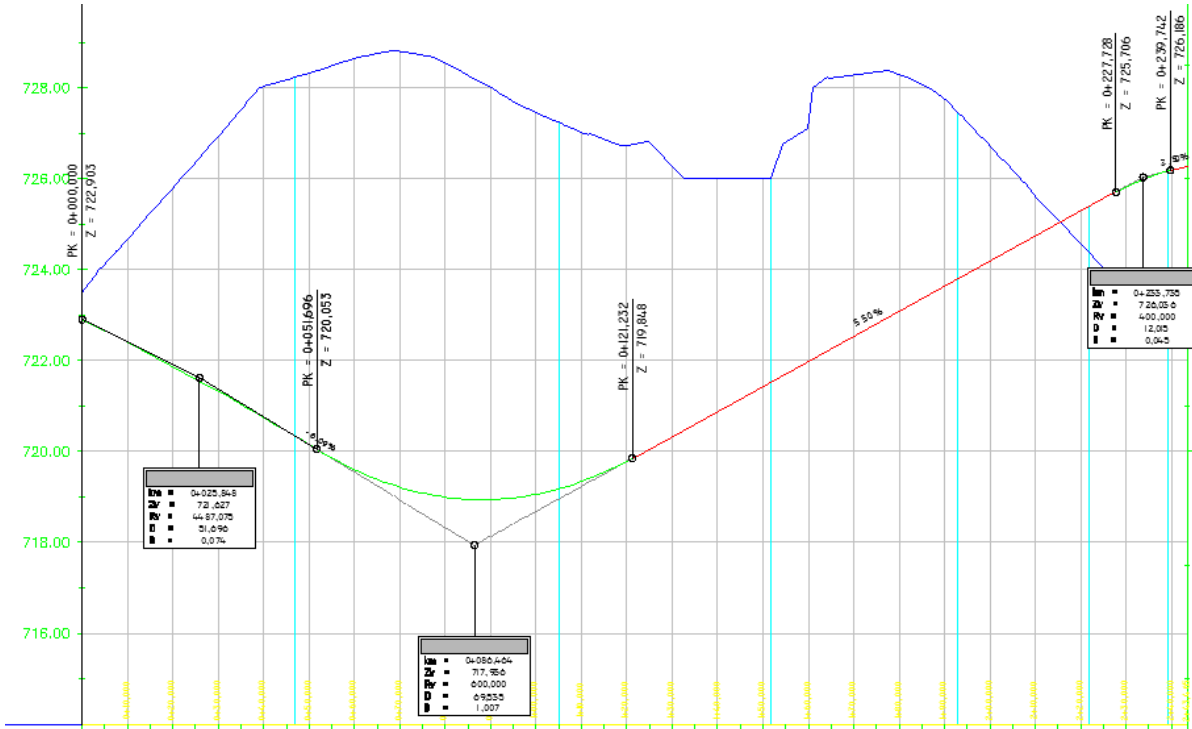


Figura 74 – Perfil Longitudinal do Ramo B

Outro aspecto importante a frisar é o modo com esta rasante está situada em relação ao terreno. Como se pode verificar na Figura 74, a execução deste ramo obrigará a um volume de escavações elevadas. Citando também, nas questões de drenagem, onde possivelmente será maior a dificuldade eliminar a água no ponto baixo em escavação.

A Figura 75 mostra uma possível solução da respectiva drenagem, onde esta deverá encontrar cotas inferiores a 718,00 metros para permitir a drenagem das águas.

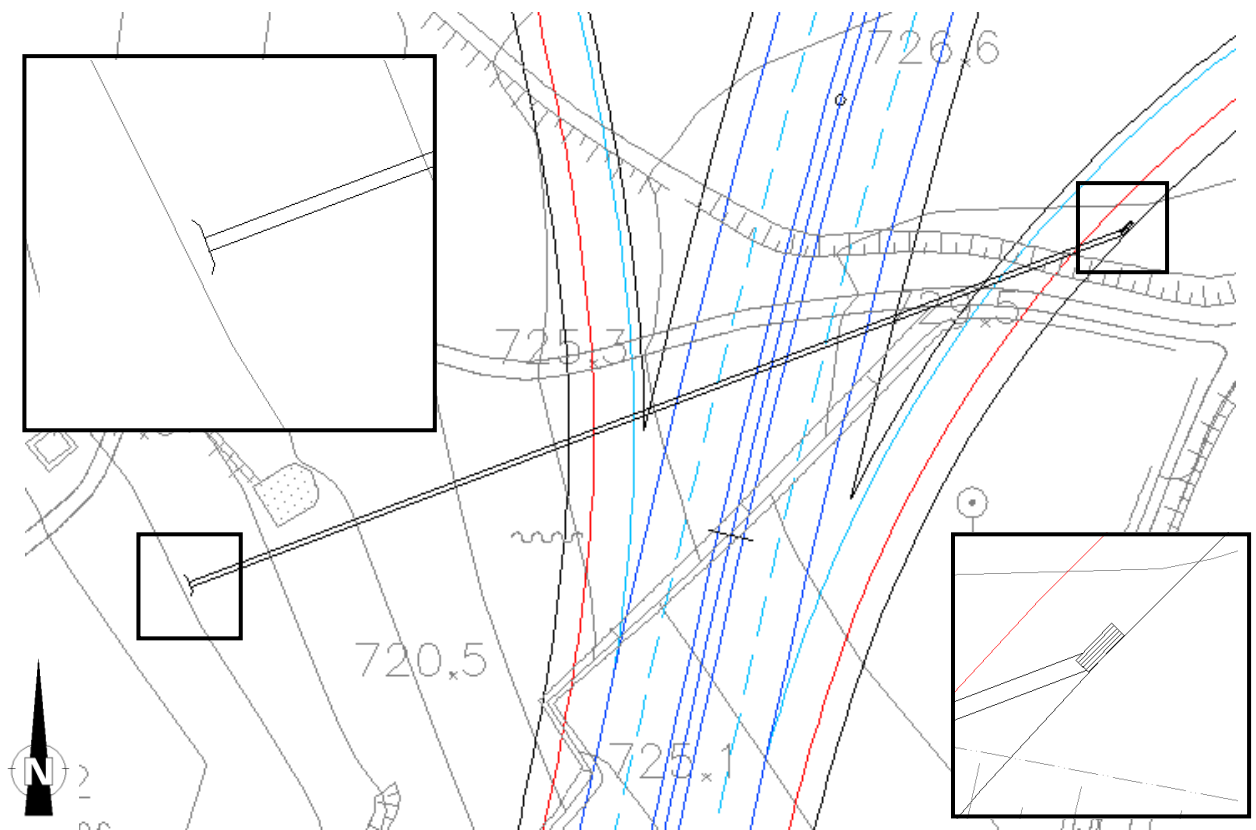


Figura 75 – Solução em planta para a drenagem do ramo B

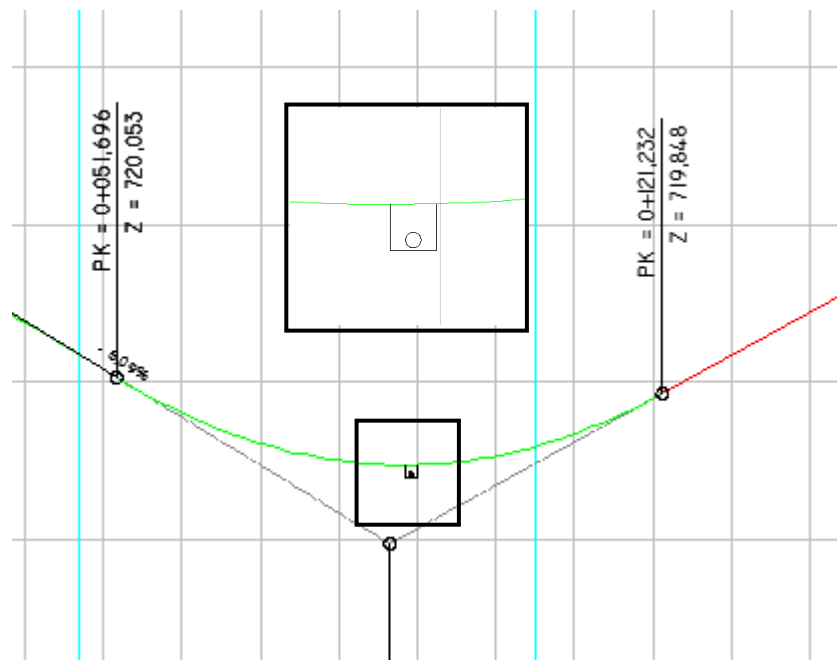


Figura 76 – Solução em perfil longitudinal para a drenagem do ramo B

de raio mais reduzido, 60,0 metros, não originando nenhum impacto para quem a circula, visto se encontrar numa zona de velocidades reduzidas. A segunda e última curva, a escolha de um raio de 120,0 metros, foi para auxiliar os utentes a inserirem na Estrada Principal nas melhores condições.

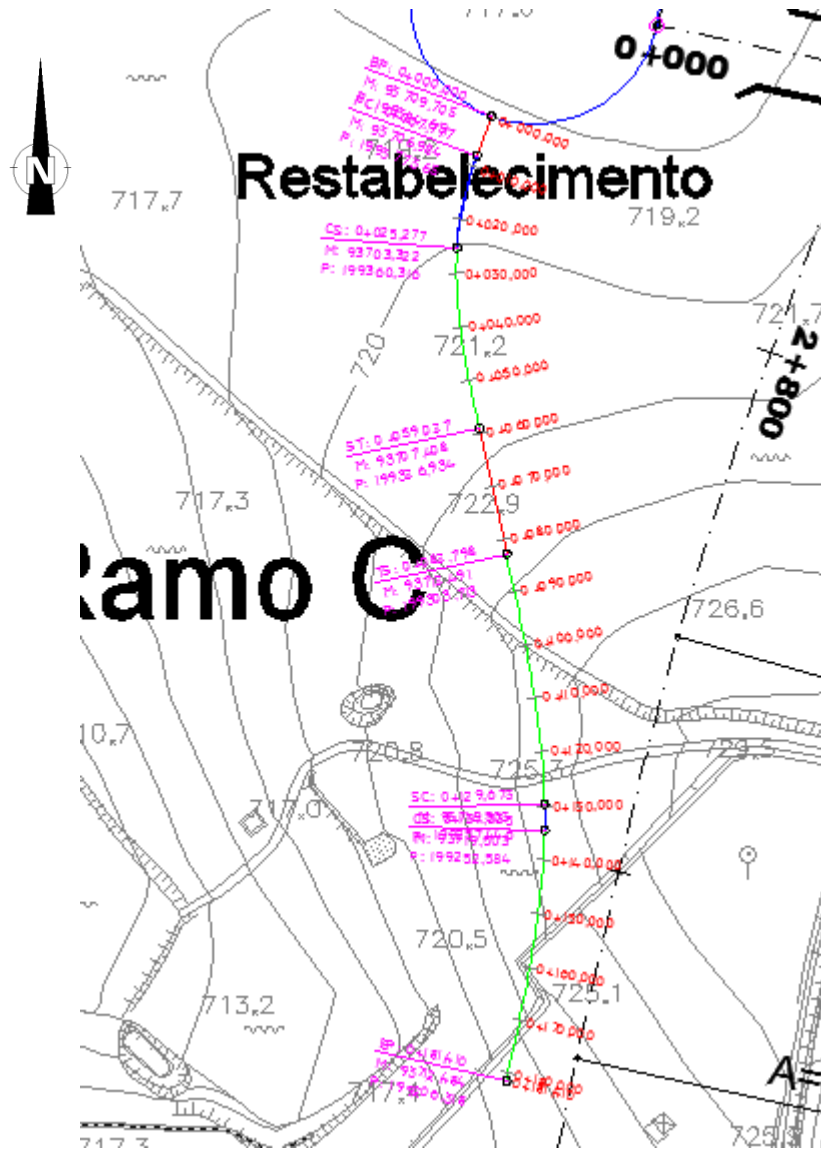


Figura 78 – Directriz do ramo C

A tabela 18 mostra alguns parâmetros importantes calculados para a correcta definição do ramo.

Tabela 18 – Parâmetros da Directriz do ramo C

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	0,000	93709,705	199384,651					
			-2,721	-7,286	7,778	22,754	222,754	
0 +	7,778	93706,984	199377,365					

Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - \tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva		
						M	P	
0 +	7,778	93706,984	199377,365					
			60,000	18,568	17,500	93763,192	199356,374	
0 +	25,277	93703,332	199360,316					

Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	25,277	93703,332	199360,316					
			45,000	0,281	33,750	3,146	63,146	
0 +	59,027	93707,408	199326,934					

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$tg^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)	
0 +	59,027	93707,408	199326,934					
			5,083	-23,221	23,771	-13,719	186,281	
0 +	82,798	93712,491	199303,713					

Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	82,798	93712,491	199303,713					
			75,000	0,195	46,875	3,043	123,043	
0 +	129,673	93719,503	199257,446					

Curva								
	M	P	R (m)	$\Omega - 2\tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva		
						M	P	
0 +	129,673	93719,503	199257,446					
			120,000	2,580	4,864	93599,528	199255,024	
0 +	134,537	93719,503	199252,584					

Clotóide								
	M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)	
0 +	134,537	93719,503	199252,584					
			75,000	0,195	46,875	3,043	123,043	
0 +	181,412	93712,484	199206,318					

3.4.3.2 PLANTA

Para a curva de raio 60,0 metros foi necessário dota-la de uma largura adicional de 0,800 metros, o que perfaz uma largura total da faixa de 4,800 metros.

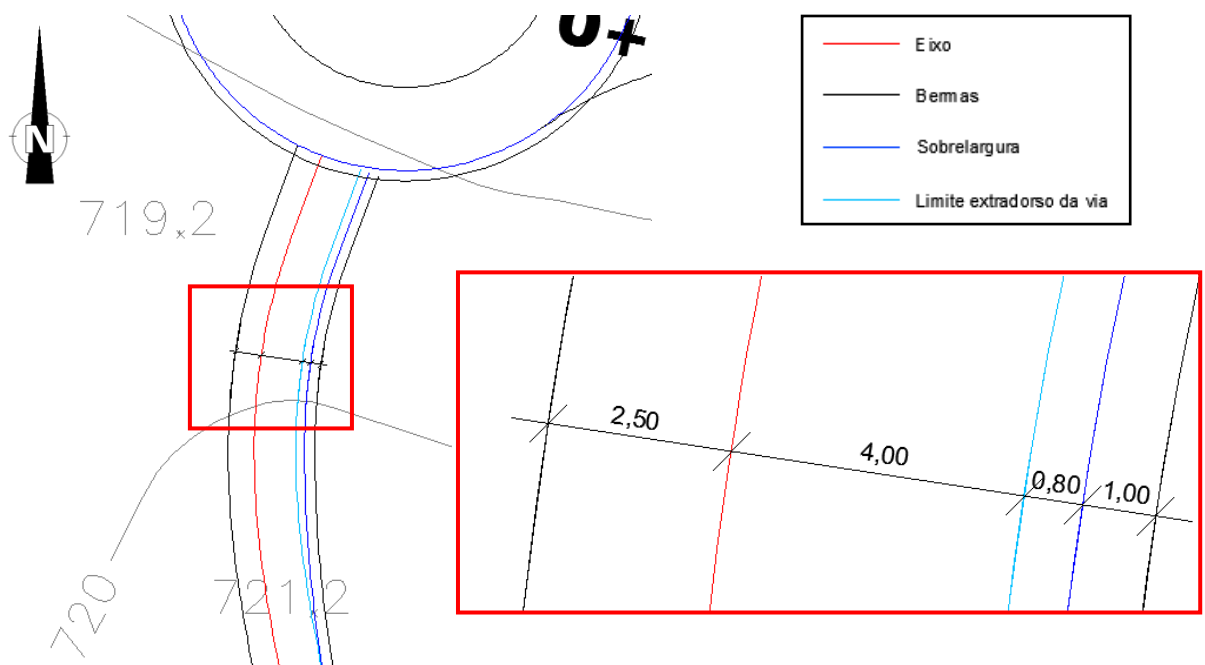


Figura 79 – Sobrelargura do raio de 60,0 metros do ramo C

No que diz respeito à via de aceleração, optou-se por utilizar do tipo paralelo sendo estas as aconselhadas pela norma.

Segundo as Normas Espanholas, utilizados pelas razões já anteriormente referidas.

Tabela 19 – Comprimento da Via de Aceleração – NORMAS ESPANHOLAS

Velocidade Específica do Ramal	60,0 Km/h
Raio Mínimo da Curva	120,0 m
Velocidade de Entrada	100,0 Km/h
Extensão da via de aceleração incluindo Taper	120,0 m
Taper	75,0 m
Factor Multiplicativo	2,20
Extensão da via de aceleração final	$120,0 \times 2,20 = 264,0 \longrightarrow 189,0^*$ (* 75,0 metros da extensão total é a extensão do Taper)

Então,

$$\theta = 2 \times \arctg \frac{3,5}{75} \leftrightarrow \theta = 5,937$$

E se admitirmos que R_1 é igual a R_2 ,

$$2 \times R = \frac{75}{\sin 5,937} \leftrightarrow R_1 = R_2 = 402,661$$

Os símbolos têm o mesmo significado do utilizado na Figura 38.

Aplicando o valor calculado é possível finalizar a via de aceleração incluindo Taper como se pode visualizar na Figura 80.

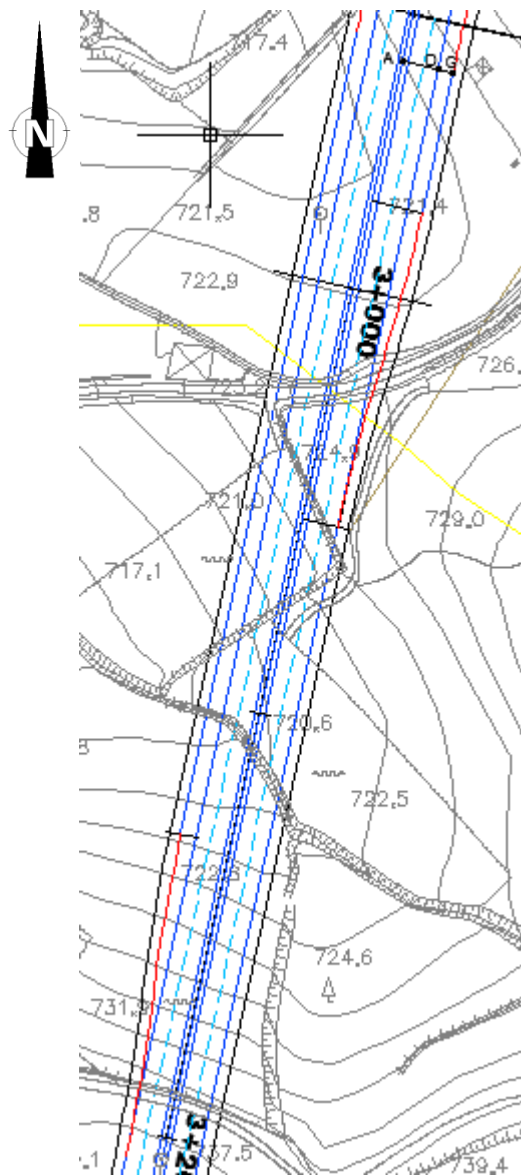


Figura 80 – Via de Aceleração incluído Taper do ramo C

3.4.3.3 SOBREELEVAÇÃO DO RAMO DE LIGAÇÃO

Pelas mesmas razões apontadas nos ramos anteriores, admitiu-se 4,0 % de sobrelevação para o raio de 120,0 metros. Para o raio de 60,0 metros é necessário determinar a inclinação que ramo deve ter de modo a apresentar uma ligação contínua com a rotunda e de modo a verificar a variação máxima imposta pela norma.

Sobreelevação no ponto comum à rotunda

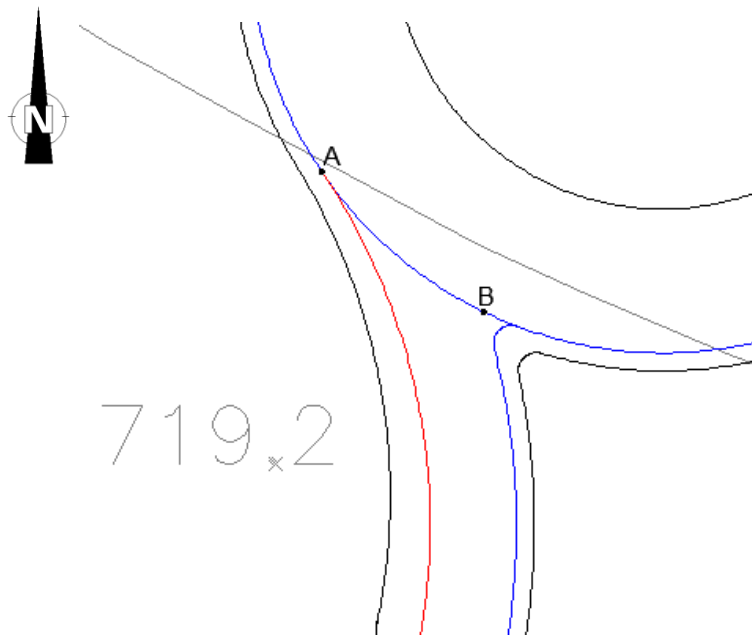


Figura 81 – Intersecção da Rotunda A com o Ramo C

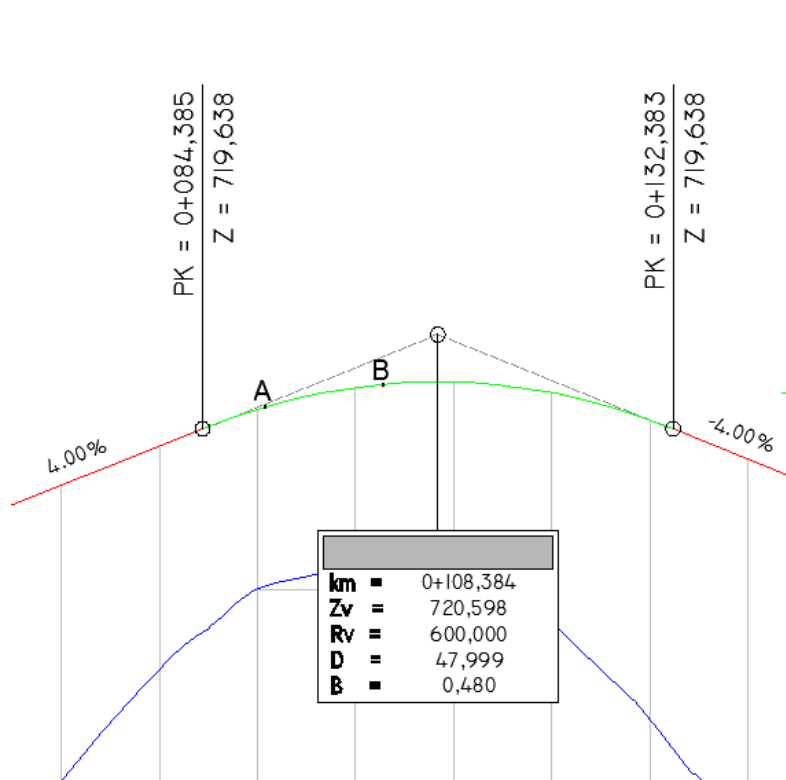


Figura 82 – Perfil Longitudinal da Rotunda A – Intersecção com o Ramo C

Cota do ponto A:

$$Z_A = 719,638 + 0,040 \times (90,749 - 84,385) - \frac{(90,749 - 84,385)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_A = 719,859 \text{ m}$$

Cota do ponto B:

$$Z_B = 719,638 + 0,040 \times (102,819 - 84,385) - \frac{(102,819 - 84,385)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_B = 720,092 \text{ m}$$

A inclinação longitudinal da rotunda deve ser a igual à inclinação transversal do ramo neste ponto, porém longitudinalmente a rotunda encontra-se sobre uma concordância e, de modo a simplificar admitimos que esta varia de forma linear.

$$i = \frac{720,092 - 719,859}{102,819 - 90,749} \leftrightarrow i = 1,930 \%$$

Variação máxima admissível

A variação máxima da sobrelevação em cada 20,0 metros de extensão para velocidades 25 a 30 Km/h é de 5,3 %.

20,0 metros	—————	5,3 %
7,777 metros	—————	ΔS
	ΔS = 2,061 %	

Para uma visualização mais adequada da sobrelevação ao longo do ramo, dividir-se-á em duas partes:

1ª Parte (raio de 60,0 metros)



Figura 83 – Variação da Sobrelevação do Ramo C – Primeira Parte

2ª Parte (raio de 120,0 metros)

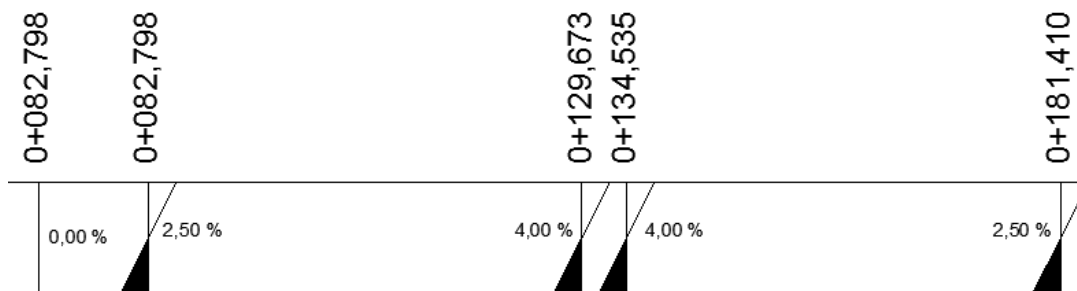


Figura 84 – Variação da Sobre-elevação do Ramo C – Segunda Parte

3.4.3.4 PERFIL LONGITUDINAL

Para se efectuar o estudo da rasante é necessário o conhecimento prévio do desenvolvimento do traçado em planta e, conseqüentemente, do desenvolvimento do perfil longitudinal do terreno.

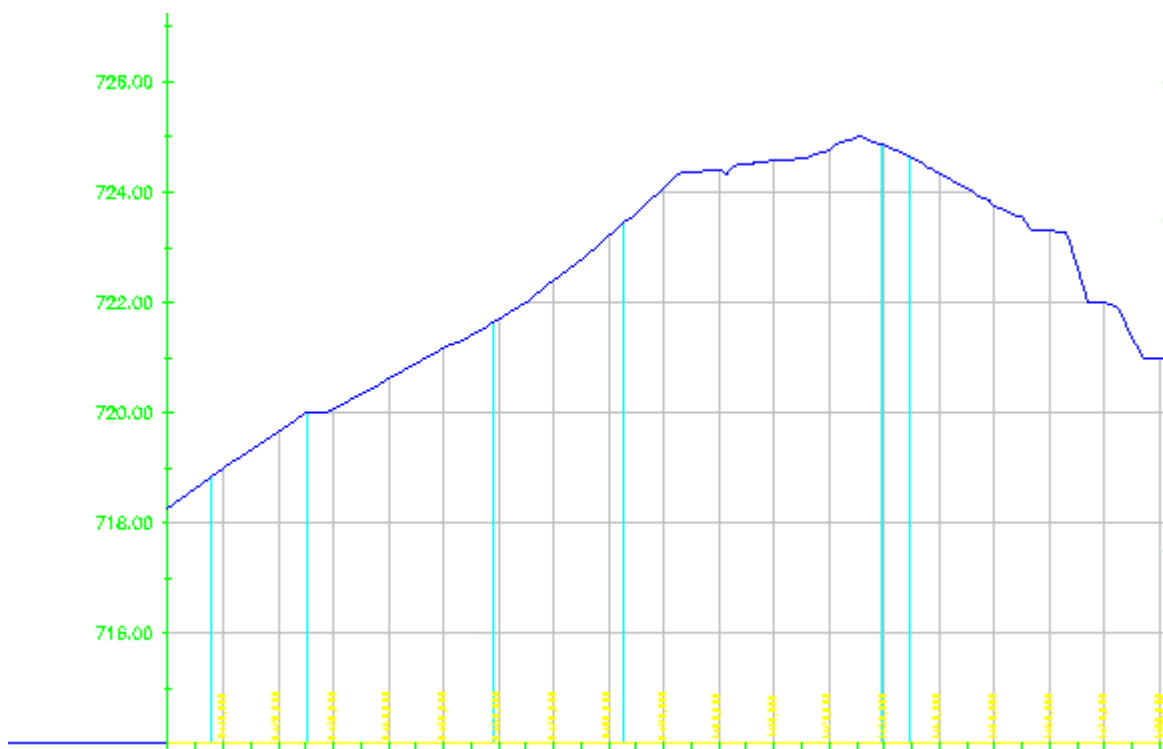


Figura 85 – Perfil Longitudinal do terreno do ramo C

Antes de prosseguir à rasante propriamente dita, é necessário estabelecer as cotas do ponto de partida e de chegada.

PONTO DE PARTIDA (0+000,000)

O ponto de partida corresponde ao quilómetro zero do ramo e a sua entrada é estabelecida através da Rotunda A, por essa razão é necessário determinar a respectiva cota visto estas serem obrigatoriamente iguais.

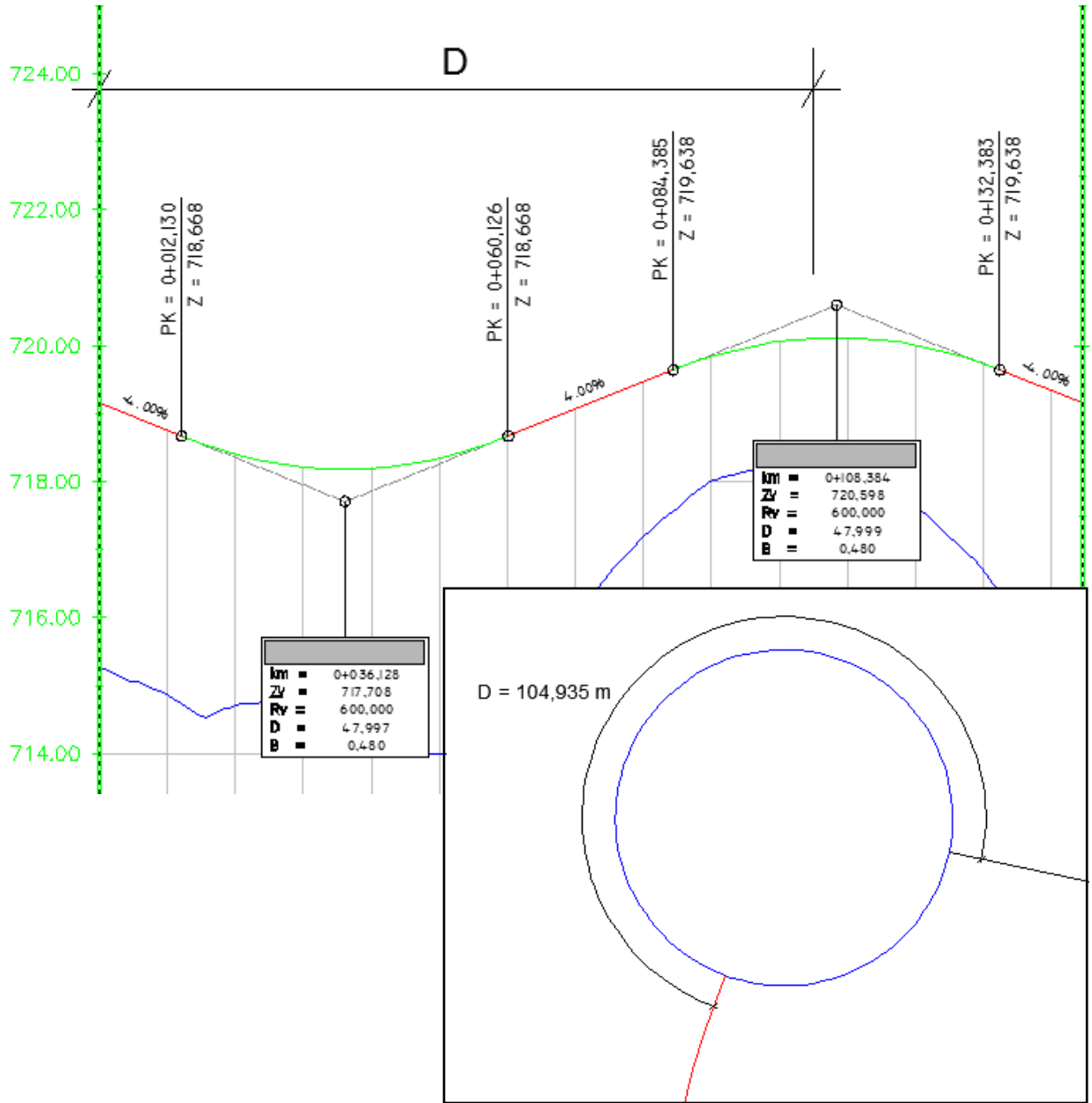


Figura 86 – Perfil Longitudinal da Rotunda A - Esquema auxiliar para a extracção das cotas coincidente com o ramo C

Assim o Ramo C deverá iniciar-se à cota:

$$Z = 719,638 + (104,935 - 84,385) \times 0,04 - \frac{(104,935 - 84,385)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z = 720,108m$$

PONTO DE CHEGADA (0+181,410)

O ponto de chegada do ramo situa-se no início da convergência que faz com a Estrada Principal, mais precisamente no quilometro 2+942,224 desta. Para tal, é necessário determinar a cota correspondente ao respectivo quilómetro de modo a possibilitar a posterior determinação das cotas do ramo.

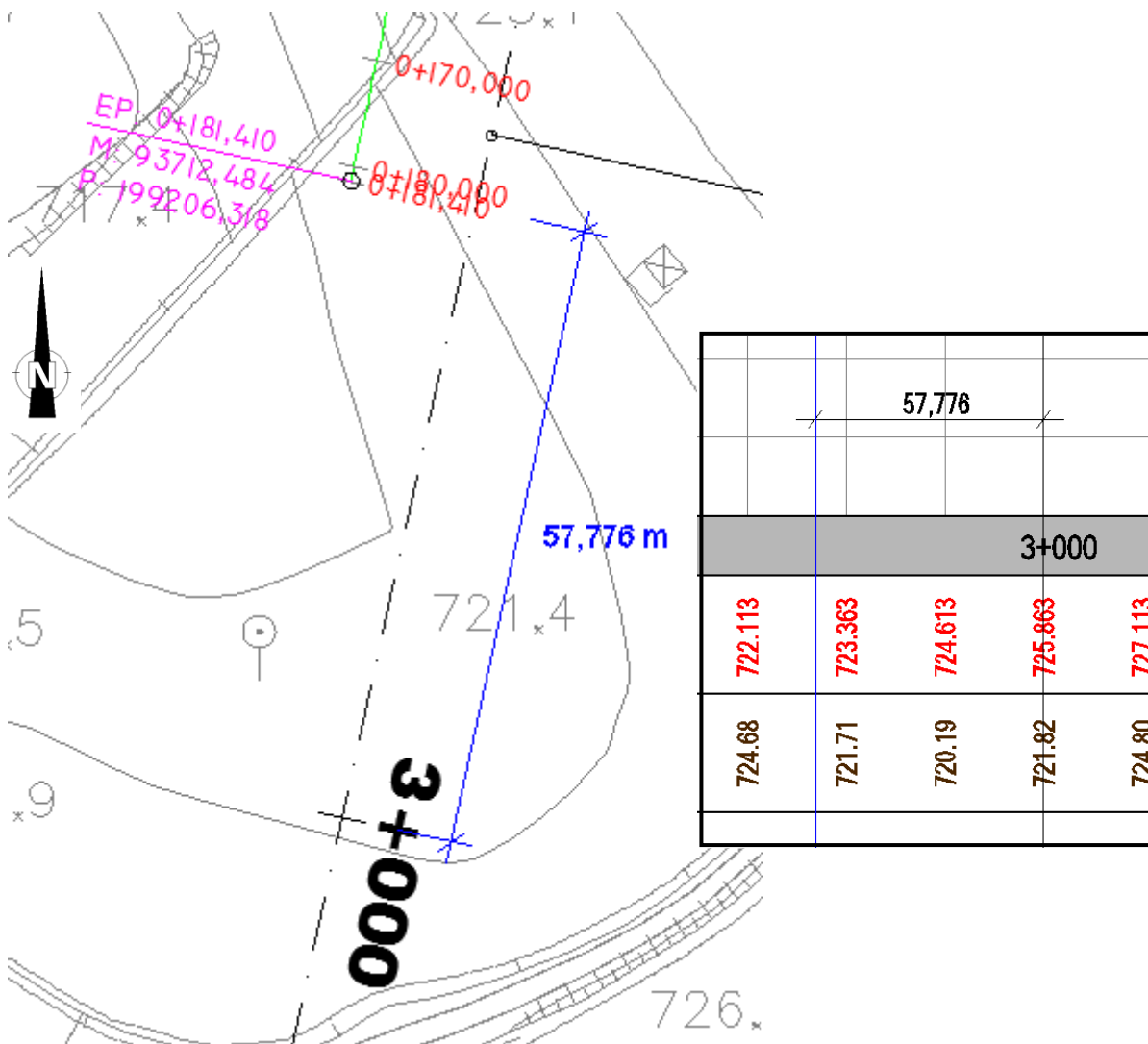


Figura 87 - Esquema para determinação da cota da estrada principal correspondente ao fim do ramo C

$$Z = 725,863 - 0,050 \times 57,776 \leftrightarrow Z = 722,974 m$$

De seguida, determinam-se as cotas de um conjunto de pontos de modo a garantir a correcta continuidade do ramo com a Estrada Principal.

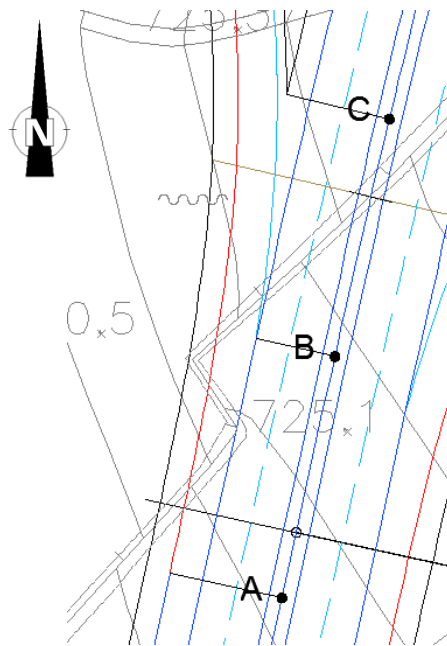


Figura 88 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do eixo da estrada principal – Ramo C

$$Z_A = 722,974 \text{ m}$$

$$Z_B = 722,974 - 0,050 \times 25,385 \leftrightarrow Z_B = 721,705 \text{ m}$$

$$Z_C = 722,974 - 0,050 \times 50,408 \leftrightarrow Z_C = 720,454 \text{ m}$$

Visualizando o perfil longitudinal da Estrada Principal, podemos verificar que tanto o ponto A, B e C encontram-se numa zona de variação de sobre elevação, sendo necessário determiná-las através de metodologias lineares.

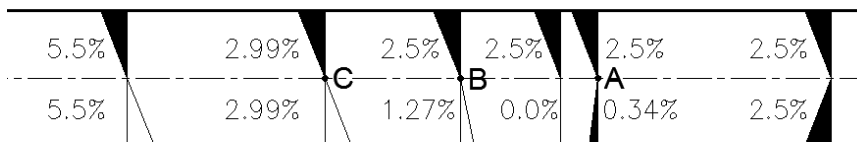


Figura 89 – Variação da Sobre elevação da estrada principal – Ramo C

Tendo por base o Perfil Transversal Tipo atrás definido, segue-se a determinação das cotas dos bordos mais exteriores da Estrada Principal:

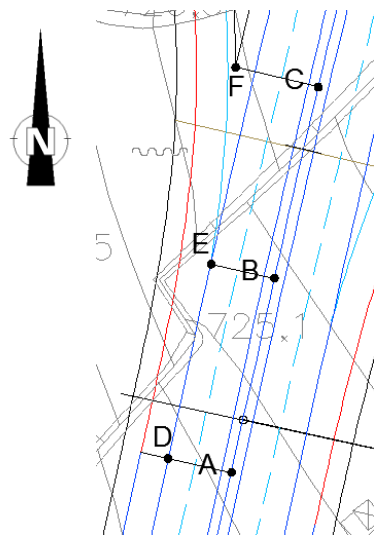


Figura 90 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do bordo esquerdo da estrada principal – Ramo C

$$Z_D = 722,974 - 0,000 \times 0,300 - 0,0034 \times 8,000 \leftrightarrow Z_D = 722,947 \text{ m}$$

$$Z_E = 721,705 - 0,000 \times 0,300 + 0,0127 \times 8,000 \leftrightarrow Z_E = 721,807 \text{ m}$$

$$Z_F = 720,454 - 0,000 \times 0,300 + 0,0299 \times 10,500 \leftrightarrow Z_F = 720,768 \text{ m}$$

Com base na sobrelevação do ramo definida anteriormente, foi possível determinar as cotas dos pontos em que o ramo deve obedecer. Na fase inicial do ramo, ou seja, a perpendicular ao eixo da Estrada Principal no ponto A a via deve garantir a mesma inclinação. O mesmo não acontece com os restantes pontos, pois o próprio ramo terá que transcrever a sua sobrelevação onde as perpendiculares correspondentes ao ponto C já se encontrará em curva (4,0%) e as do B na clotóide onde é necessário determinar a inclinação correspondente.

0,0 metros	_____	0,34 %
46,875 metros	_____	4,0 %
25,194 metros	_____	Se

$$\text{Se} = 2,307 \%$$

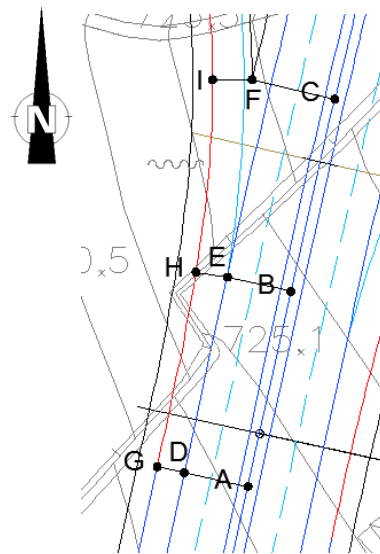


Figura 91 – Esquema auxiliar para a determinação das cotas do ramo C

$$Z_G = 722,947 - 0,0034 \times 3,500 \leftrightarrow Z_G = 722,935 \text{ m}$$

$$Z_H = 721,807 - 0,0231 \times 4,000 \leftrightarrow Z_H = 721,715 \text{ m}$$

$$Z_I = 720,768 - 0,040 \times 5,000 \leftrightarrow Z_I = 720,568 \text{ m}$$

Os pontos de chegada atrás definidos obrigaram a rasante a transcrever-se numa concordância de raio 14634,787 metros. Como as cotas dos pontos de chegada é superior as de partida é necessário dotar a rasante com uma concordância côncava com um raio de 800,000 metros, seguindo-se a verificação para uma velocidade de 60,0 Km/h.

$$\frac{v^2}{R} < 0,5 \text{ m/s}^2 \rightarrow \frac{\left(\frac{60}{3,6}\right)^2}{800} < 0,347 \text{ m/s}^2$$

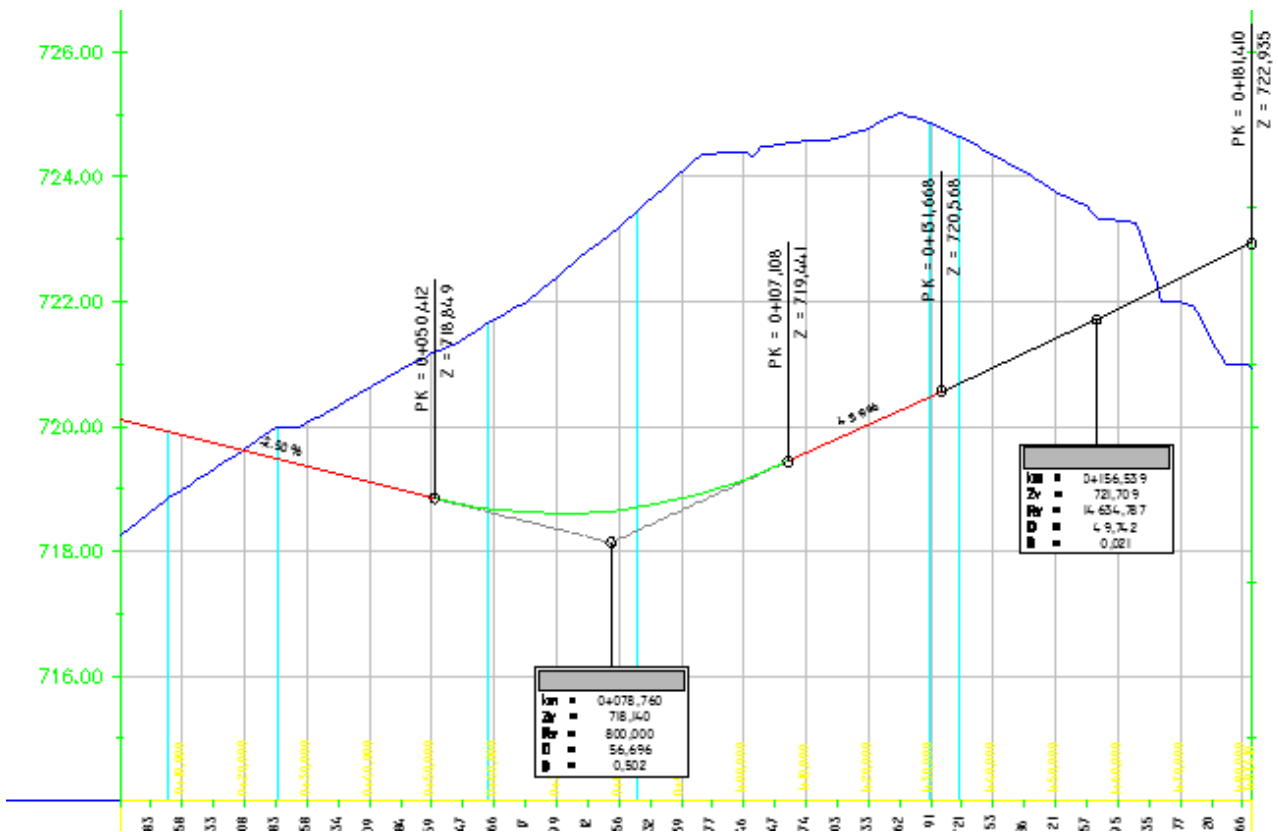


Figura 92 – Perfil Longitudinal do Ramo C

Tal como no ramo anterior também aqui existirá algumas dificuldades de escoamento da água a partir do ponto baixo em escavação. Aqui a solução é quantitativamente mais simples. É importante referir que não foram realizados estudos precisos e a informação apresentada na Figura 93 é apenas representativa com o objectivo de alertar para os problemas desta matéria.



Figura 93 – Solução para a drenagem do ramo C

3.4.4 RAMO D

O ramo de ligação com a designação Ramo D permite estabelecer, através da Estrada Principal, a ligação com a Rotunda A de modo a fornecer aos utentes a possibilidade de saírem da Estrada Principal e inserirem-se na Estrada Secundária. Este ramo contém particularidades diferentes dos restantes ramos, uma vez que a sua divergência com a estrada principal situa-se em curva e na elaboração do Taper, esta localizou-se em clotóide.

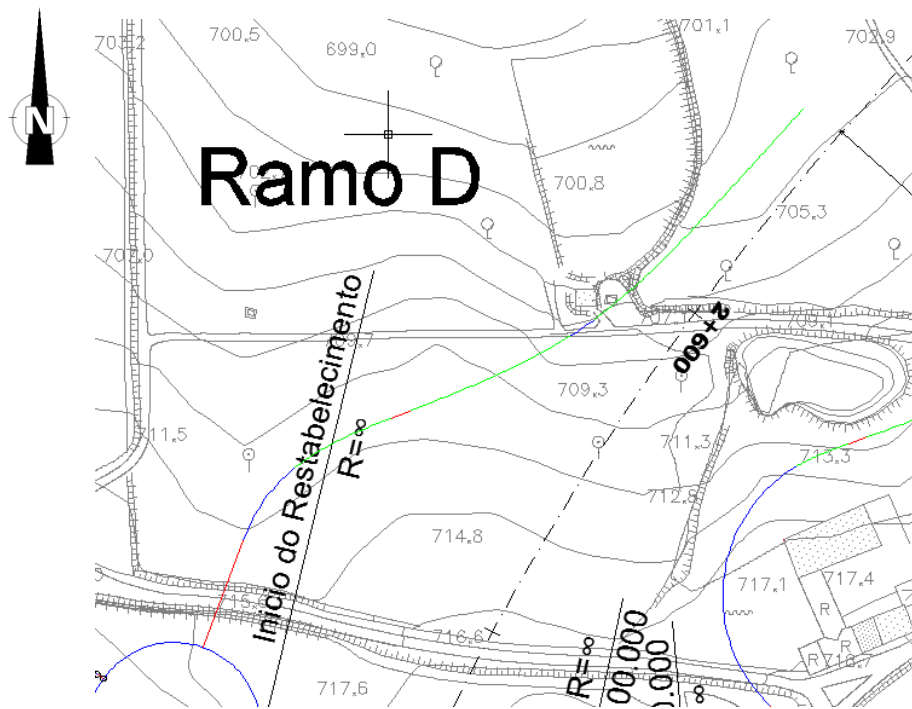


Figura 94 – Ramo D

3.4.4.1 DIRECTRIZ

Este ramo é constituído por duas curvas de sentidos contrários, por quatro clotóides e por dois pequenos alinhamentos rectos, o que perfaz um total de 221,631 metros de extensão com início na divergência da Estrada Principal e fim na Rotunda A. Pelas razões apontadas nos ramos anteriores, à primeira curva atribuiu-se 120,0 metros de raio e à segunda curva, um raio de 45,0 metros.

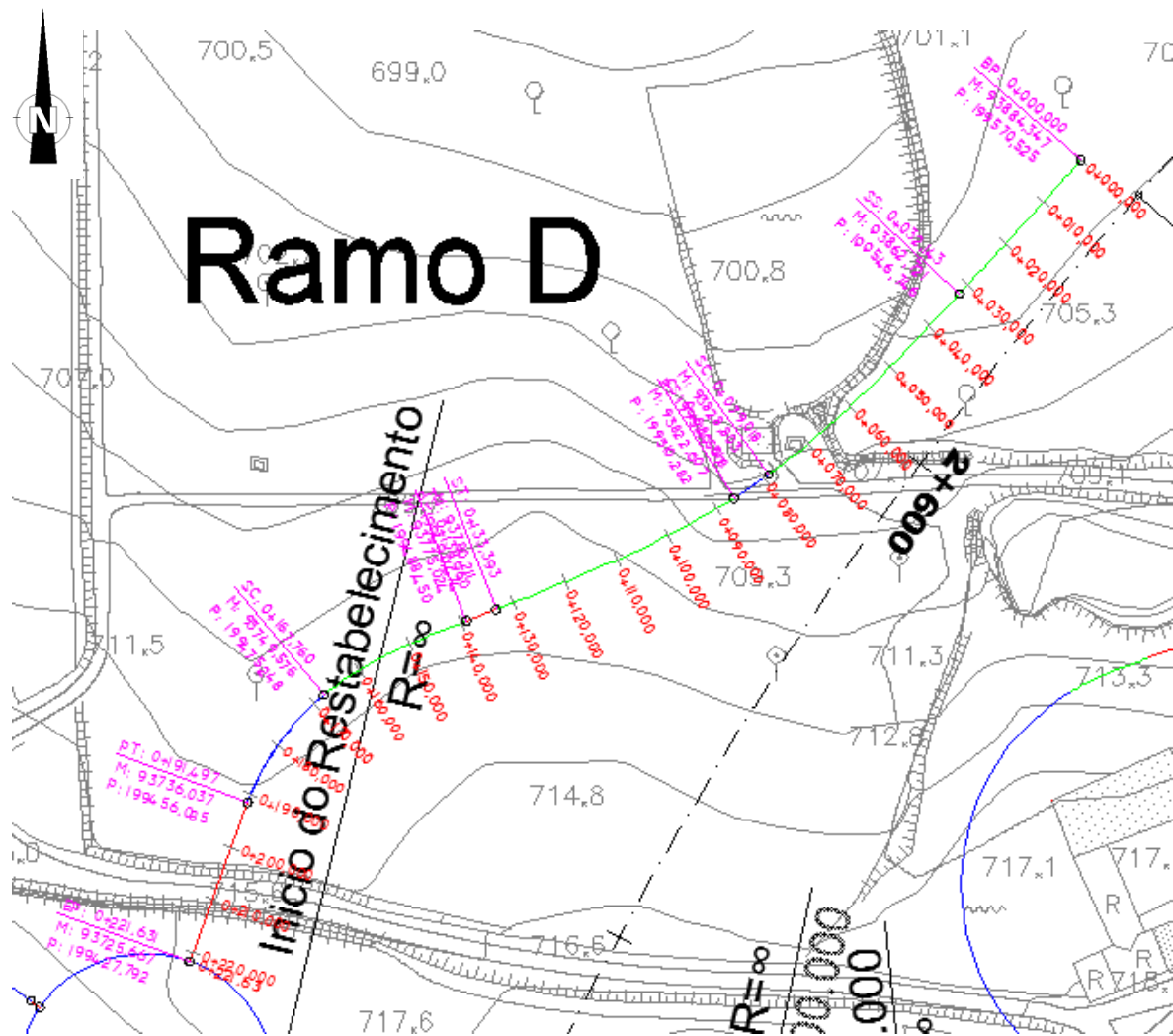


Figura 95 – Directriz do Ramo D

A tabela 20 mostra alguns parâmetros importantes calculados para a correcta definição do ramo.

Tabela 20 – Parâmetros da directriz do ramo D

Clotóide							
	M	P	A	T	L	ΔR	$R+\Delta R$
				(grad)	(m)	(m)	(m)
0 + 000,000	93884,347	199570,525					
			150,000	0,023	32,143	0,246	700,246
0 + 032,143	93862,721	199546,746					

Clotóide								
M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)		
0 + 032,143	93862,721	199546,746						
		75,000	0,195	46,875	3,043			123,043
0 + 079,018	93828,803	199514,507						

Curva								
M	P	R (m)	$\Omega - \tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva			
					M	P		
0 + 079,018	93828,803	199514,507						
		120,000	3,979	7,500	93758,125			199611,485
0 + 086,518	93822,607	199510,282						

Clotóide								
M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)		
0 + 086,518	93822,607	199510,282						
		75,000	0,195	46,875	3,043			123,043
0 + 133,393	93780,211	199490,474						

Alinhamento Recto								
M	P	ΔM	ΔP	d (m)	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$ (grad)	Az (grad)		
0 + 133,393	93780,211	199490,474						
		-5,187	-2,024	5,567	2,563			276,316
0 + 138,960	93775,024	199488,450						

Clotóide								
M	P	A	τ (grad)	L (m)	ΔR (m)	R+ ΔR (m)		
0 + 138,960	93775,024	199488,450						
		36,000	0,320	28,800	3,049			45,320
0 + 167,760	93749,576	199475,248						

Curva								
M	P	R (m)	$\Omega - 2\tau$ (grad)	D (m)	Centro da Curva			
					M	P		
0 + 167,760	93749,576	199475,248						
		45,000	33,581	23,737	93778,288			199440,599
0 + 191,497	93736,037	199456,085						

Alinhamento Recto								
	M	P	ΔM	ΔP	d	$\text{tg}^{-1}(\Delta M/\Delta P)$	Az	
					(m)	(grad)	(grad)	
0 +	191,497	93736,037	199456,085					
			-10,370	-28,293	30,134	0,367	222,366	
0 +	221,631	93725,667	199427,792					

3.4.4.2 PLANTA

Para a curva de raio 45,0 metros foi necessário dota-la de uma largura adicional de 1,25 metros, o que perfaz uma largura total da faixa de 5,25 metros.

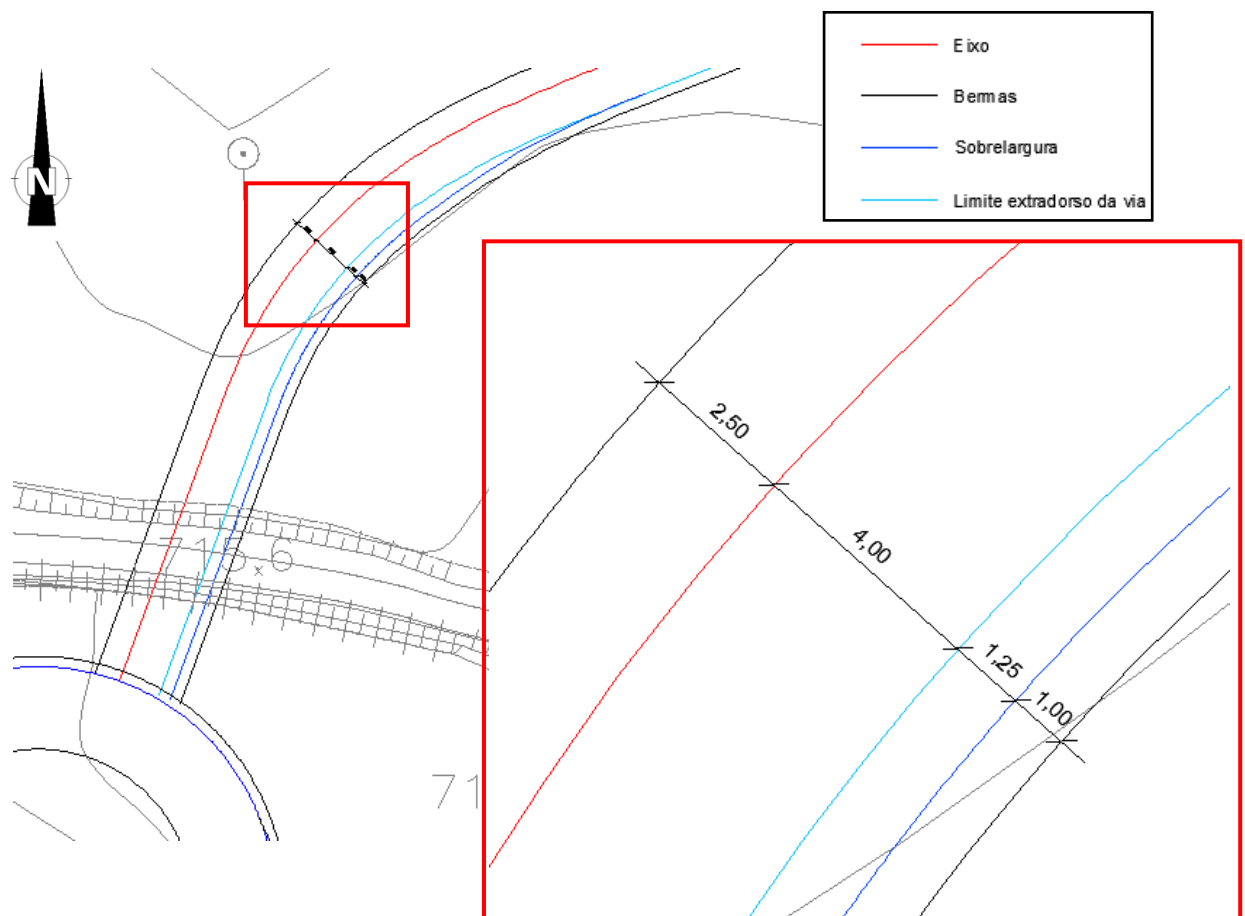


Figura 96 – Sobrelargura do raio de 45,0 metros do ramo D

No que diz respeito à via de abrandamento, optou-se por se utilizar do tipo paralelo com base nas razões apontadas no Ramo B.

Segundo as Normas Espanholas, uma vez mais utilizadas pelas razões já expostas:

Tabela 21 – Comprimento da via de Abrandamento – NORMAS ESPANHOLAS

Velocidade Específica do Ramal	60,0 Km/h
Raio Mínimo da Curva	120,0 m
Velocidade de Entrada	100,0 Km/h
Extensão da via de aceleração incluindo Taper	80,0 m
Taper	75,0 m
Factor Multiplicativo	0,80
Extensão da via de aceleração final	$120,0 \times 0,50 = 60,0 \longrightarrow 0,0^*$ (* não necessita de via de aceleração, apenas um Taper de 75,0 metros)

Aplicando um Taper de 75,0 metros de comprimento, este localizar-se-á em clotóide como se pode observar na Figura 93.

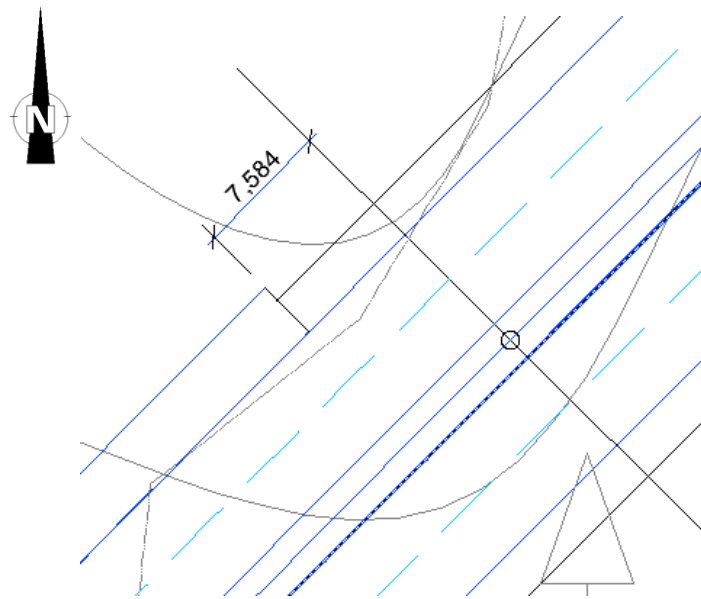


Figura 97 – Esquema auxiliar para a determinação do raio da clotóide

De modo a simplificar, e visto a distância ao alinhamento recto ser insignificante, prolongou-se o Taper até ao ponto osculador clotóide/alinhamento recto, perfazendo assim uma extensão total de 82,584 metros.

Perante esta situação, optou-se por realizar o Taper por uma única curva tendo como metodologia a Figura 98.

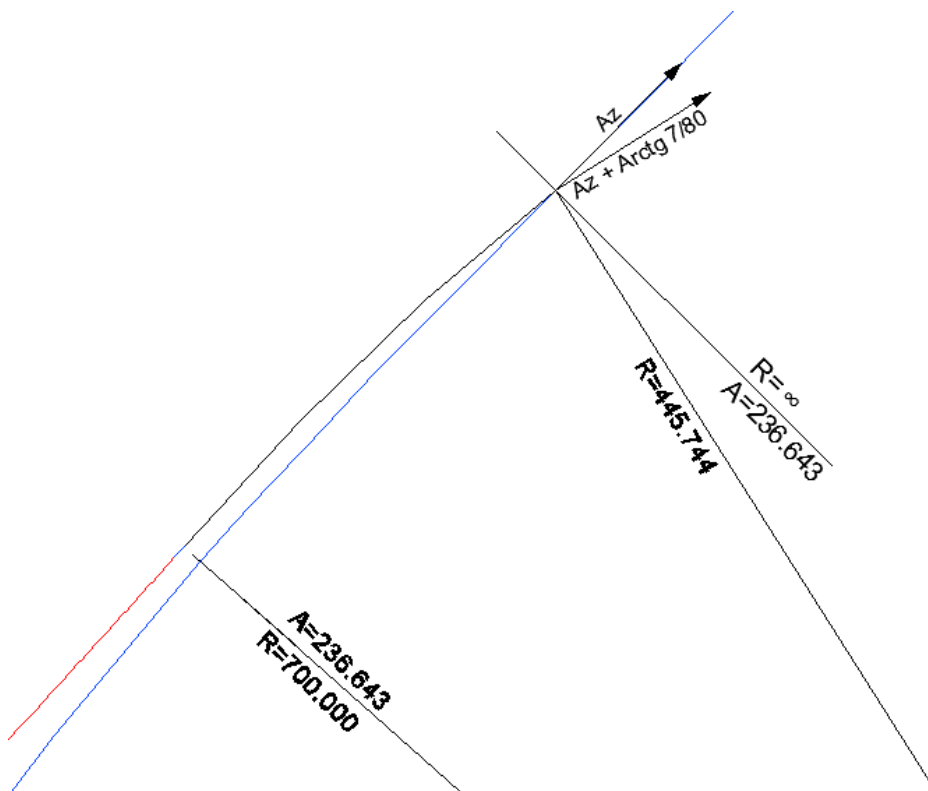


Figura 98 – Esquema para a determinação do Taper do Ramo D

Aplicando esta metodologia é possível finalizar a via de abrandamento incluindo Taper como se pode visualizar na Figura 99.

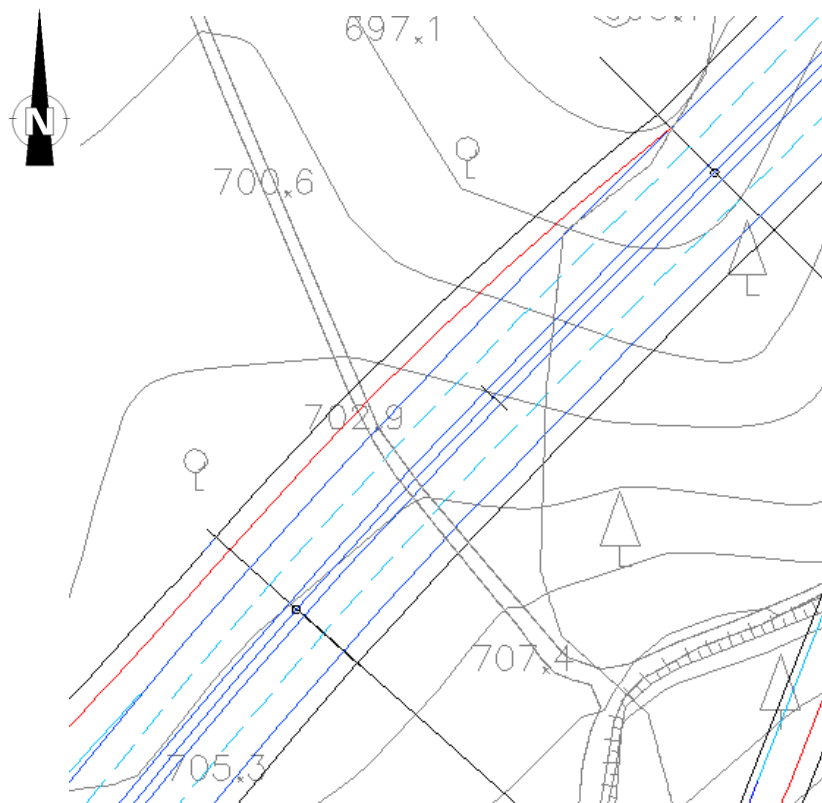


Figura 99 – Vias de abrandamento incluído Taper – Ramo D

3.4.4.3 SOBREELEVAÇÃO DO RAMO DE LIGAÇÃO

De acordo com as razões apontadas nos ramos anteriores, admitiu-se 4,0 % de sobrelevação para o raio de 120,0 metros. Para o raio de 45,0 metros, visto a velocidade ser mais reduzida, utilizou-se também uma sobrelevação de 4,0 %, segue-se a determinação das sobrelevações da Estrada Principal e da Rotunda A para uma melhor definição do ramo.

Sobreelevação da Estrada Principal

De modo a que o ramo se encontre em correcta continuidade com a Estrada Principal, ambos devem ter a mesmas sobrelevação no ponto inicial do ramo.

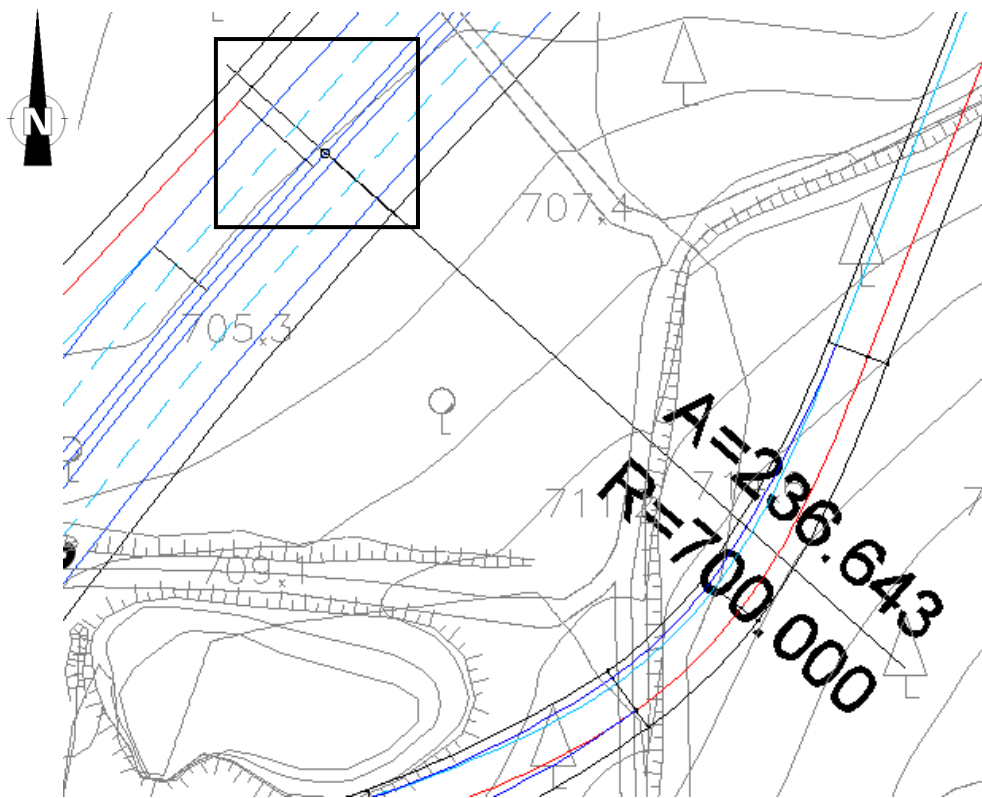


Figura 100 – Esquema auxiliar para a determinação da sobrelevação da estrada principal

Analisando o perfil longitudinal da Estrada Principal, verifica-se que este ponto apresenta uma sobrelevação de 5,5 %, como se pode observar na Figura 99.

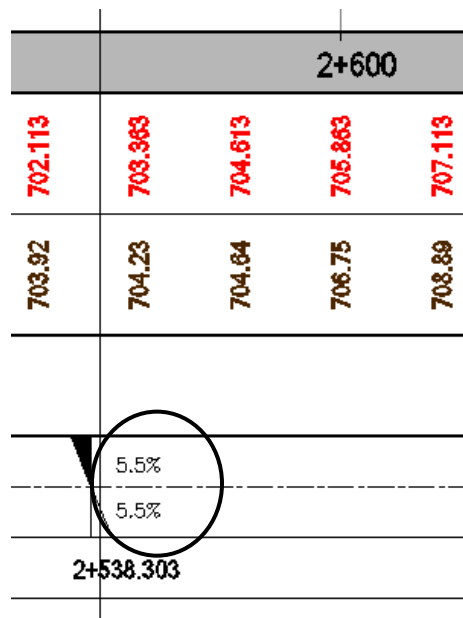


Figura 101 – Sobrelevação da Estrada Principal – Ramo D

Sobreelevação no ponto comum à rotunda

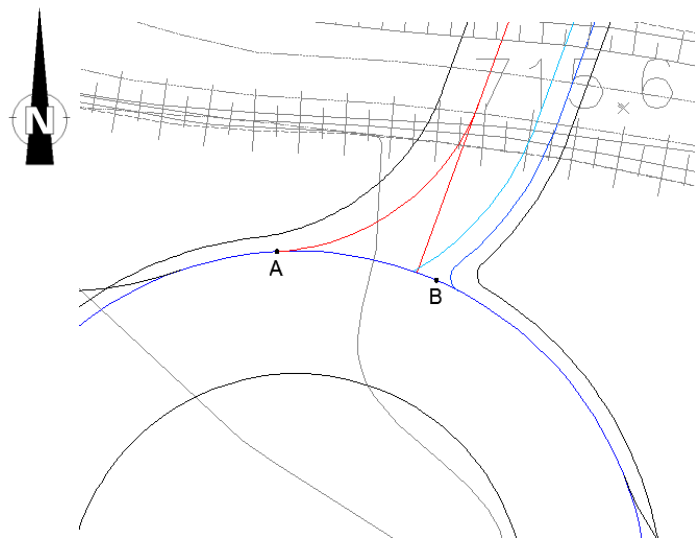


Figura 102 – Intersecção da rotunda A com o ramo D

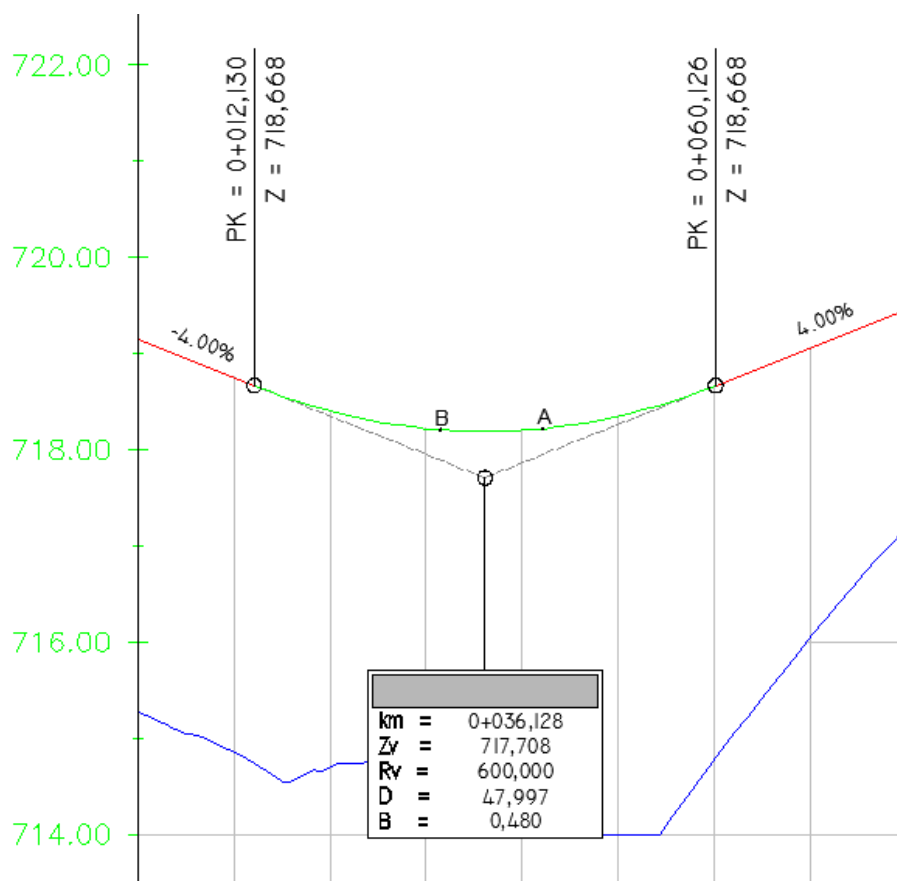


Figura 103 – Perfil Longitudinal da Rotunda A – Intersecção com o ramo D

Cota do ponto A:

$$Z_A = 718,668 - 0,040 \times (42,152 - 12,130) + \frac{(42,152 - 12,130)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_A = 718,218 \text{ m}$$

Cota do ponto B:

$$Z_B = 718,668 - 0,040 \times (31,473 - 12,130) + \frac{(31,473 - 12,130)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z_B = 718,206 \text{ m}$$

A inclinação longitudinal da rotunda deve ser a igual à inclinação transversal do ramo neste ponto, porém longitudinalmente a rotunda encontra-se sobre uma concordância e, de modo a simplificar admitimos que esta varia de forma linear.

$$i = \frac{718,218 - 718,206}{42,152 - 31,473} \leftrightarrow i = 0,112 \%$$

Para uma visualização mais adequada da sobrelevação ao longo do ramo, dividir-se-à em duas parte:

1ª Parte (raio de 120,0 metros)

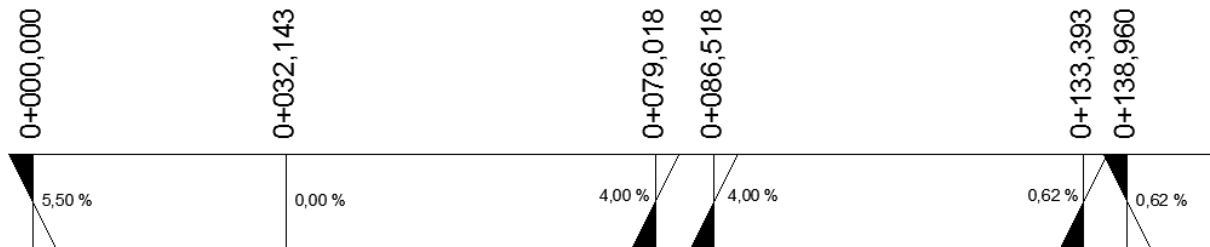


Figura 104 – Variação da Sobrelevação do ramo D – Primeira Parte

2ª Parte (raio de 45,0 metros)

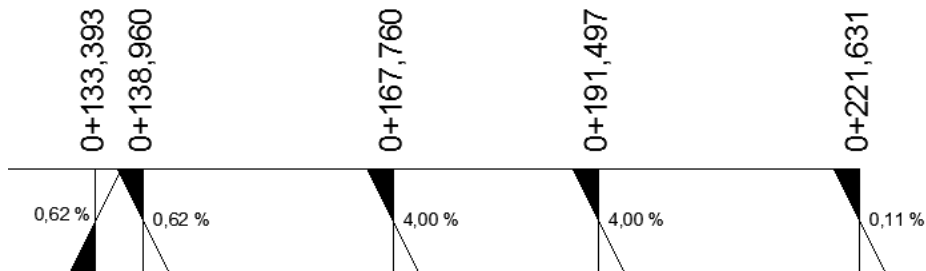


Figura 105 – Variação da Sobrelevação do Ramo D – Segunda Parte

3.4.4.4 PERFIL LONGITUDINAL

Para se efectuar o estudo da rasante é necessário o conhecimento prévio do desenvolvimento do traçado em planta e, conseqüentemente, do desenvolvimento do perfil longitudinal do terreno.

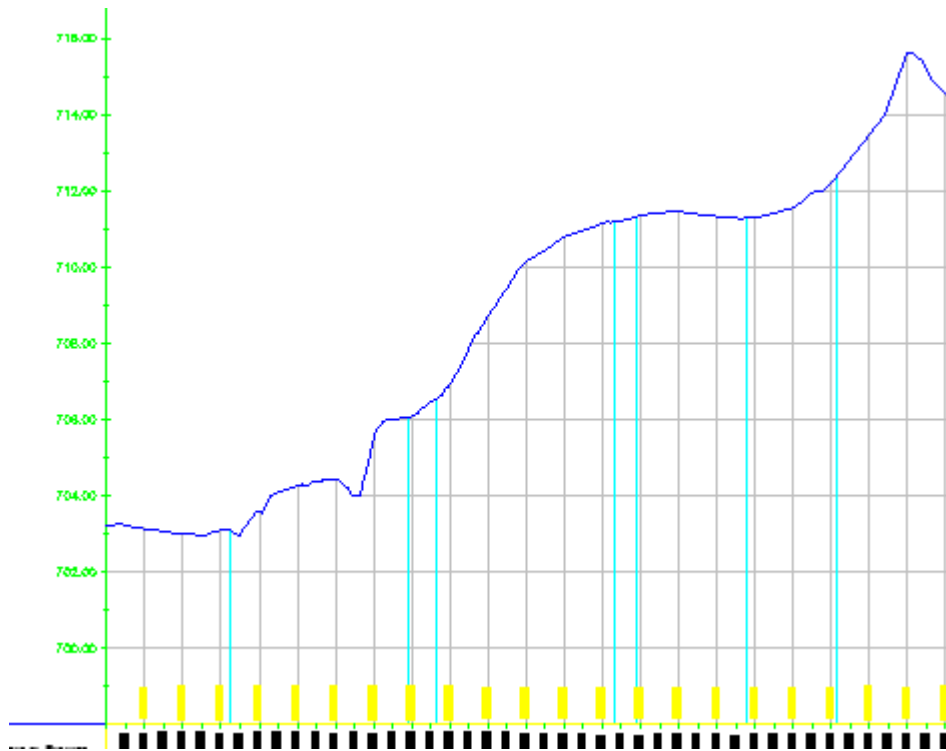


Figura 106 – Perfil Longitudinal do terreno – Ramo D

Antes de prosseguir à rasante propriamente dita, é necessário estabelecer as cotas do ponto de partida e de chegada.

PONTO DE PARTIDA (0+000,000)

O ponto de partida do ramo situa-se no início da divergência que faz com a Estrada Principal, mais precisamente no quilometro 2+540,386 desta. Para tal, é necessário determinar a cota correspondente ao respectivo quilómetro de modo a possibilitar posterior determinação das cotas do ramo.

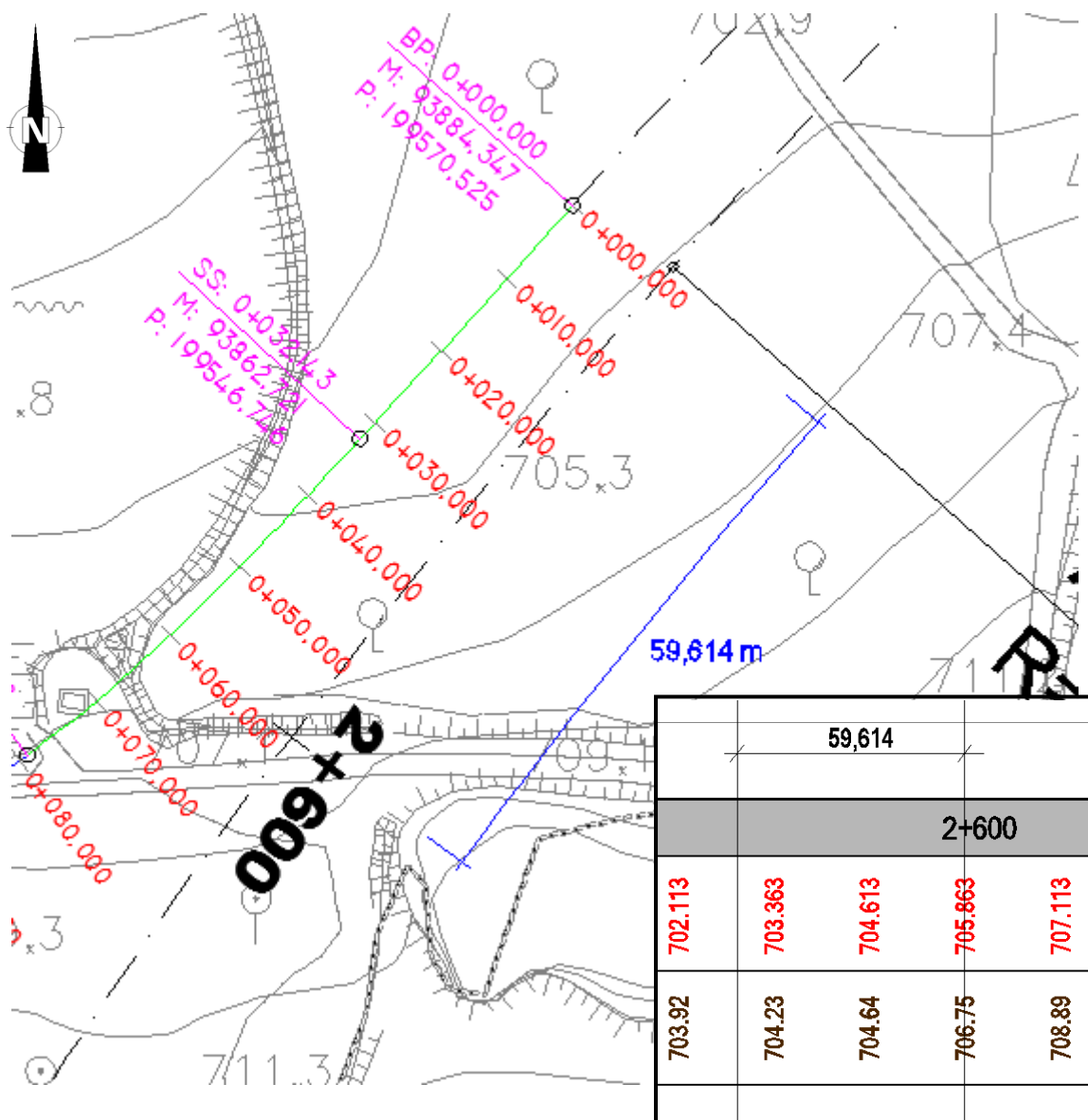


Figura 107 - Esquema para determinação da cota da estrada principal correspondente ao início do ramo D

$$Z = 705,863 - 0,050 \times 59,614 \leftrightarrow Z = 702,882 \text{ m}$$

De seguida, determinam-se as cotas de um conjunto de pontos de modo a garantir a correcta continuidade do ramo com a Estrada Principal.

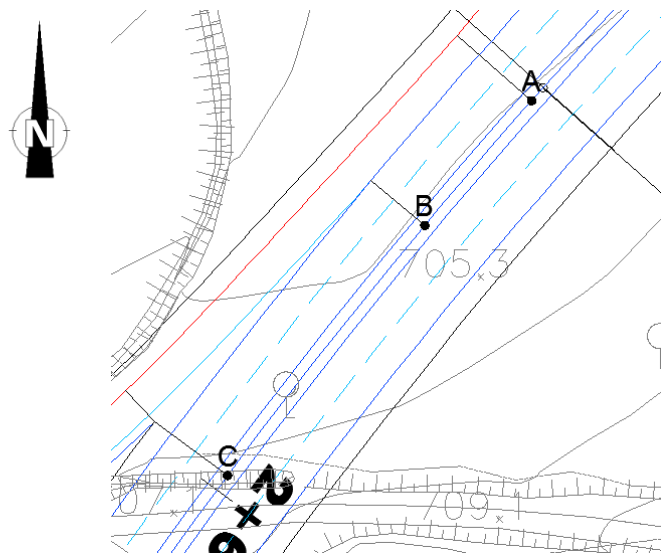


Figura 108 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do eixo da estrada principal – Ramo D

$$Z_A = 702,882 \text{ m}$$

$$Z_B = 702,882 + 0,050 \times 19,551 \leftrightarrow Z_B = 703,860 \text{ m}$$

$$Z_C = 702,882 + 0,050 \times 57,463 \leftrightarrow Z_C = 705,755 \text{ m}$$

Visualizando o perfil longitudinal da Estrada Principal, podemos verificar que os pontos A, B e C se encontram em curva, sendo a sobre elevação constante.

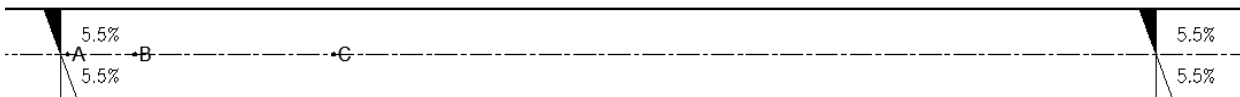


Figura 109 – Variação da sobre elevação da Estrada Principal – Ramo D

Tendo por base o Perfil Transversal Tipo atrás definido, segue-se a determinação das cotas dos bordos mais exteriores da Estrada Principal:

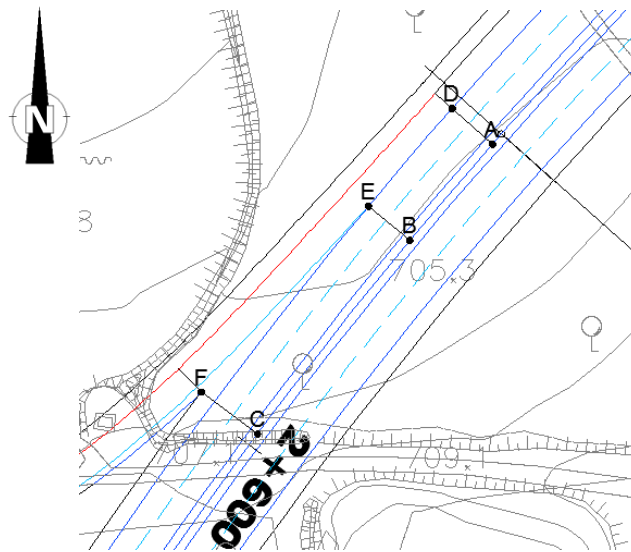


Figura 110 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do bordo da estrada principal – Ramo D

$$Z_D = 702,882 - 0,000 \times 0,300 + 0,055 \times 8,000 \leftrightarrow Z_D = 703,322 \text{ m}$$

$$Z_E = 703,860 - 0,000 \times 0,300 + 0,055 \times 8,000 \leftrightarrow Z_E = 704,300 \text{ m}$$

$$Z_F = 705,755 - 0,000 \times 0,300 + 0,055 \times 10,500 \leftrightarrow Z_F = 706,333 \text{ m}$$

Com base na sobrelevação do ramo definida anteriormente, foi possível determinar as cotas dos pontos em que o ramo deve obedecer. Na fase inicial do ramo, ou seja, a perpendicular ao eixo da Estrada Principal no ponto A a via deve garantir a mesma inclinação. O mesmo não acontece com os restantes pontos, pois o próprio ramo terá que transcrever a sua sobrelevação nas perpendiculares correspondentes ao ponto B e C sendo necessário determinar as respectivas sobrelevações.

SOBREELEVAÇÃO DO RAMO CORRESPONDENTE AO PONTO B

0,0 metros	_____	5,5 %
32,143 metros	_____	0,0 %
19,754 metros	_____	Se

$$Se = 2,120 \%$$

SOBREELEVAÇÃO DO RAMO CORRESPONDENTE AO PONTO C

0,0 metros	_____	0,0 %
46,875 metros	_____	4,0 %
25,746 metros	_____	Se

Se = 2,197 %

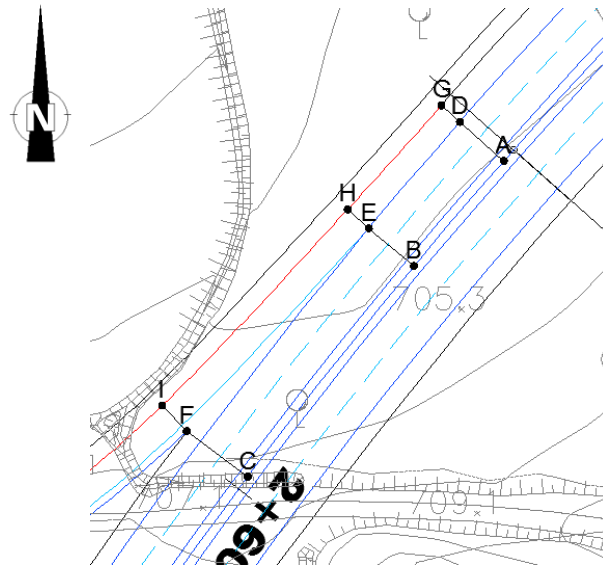


Figura 111 - Esquema auxiliar para determinação das cotas do ramo D

$$Z_G = 703,322 + 0,055 \times 3,500 \leftrightarrow Z_G = 703,515 \text{ m}$$

$$Z_H = 704,300 + 0,0212 \times 4,000 \leftrightarrow Z_H = 704,385 \text{ m}$$

$$Z_I = 706,333 - 0,0220 \times 5,000 \leftrightarrow Z_I = 706,223 \text{ m}$$

PONTO DE CHEGADA (0+221,631)

O ponto de chegada localiza-se na Rotunda A, sendo necessário determinar a respectiva cota visto estas serem obrigatoriamente iguais.

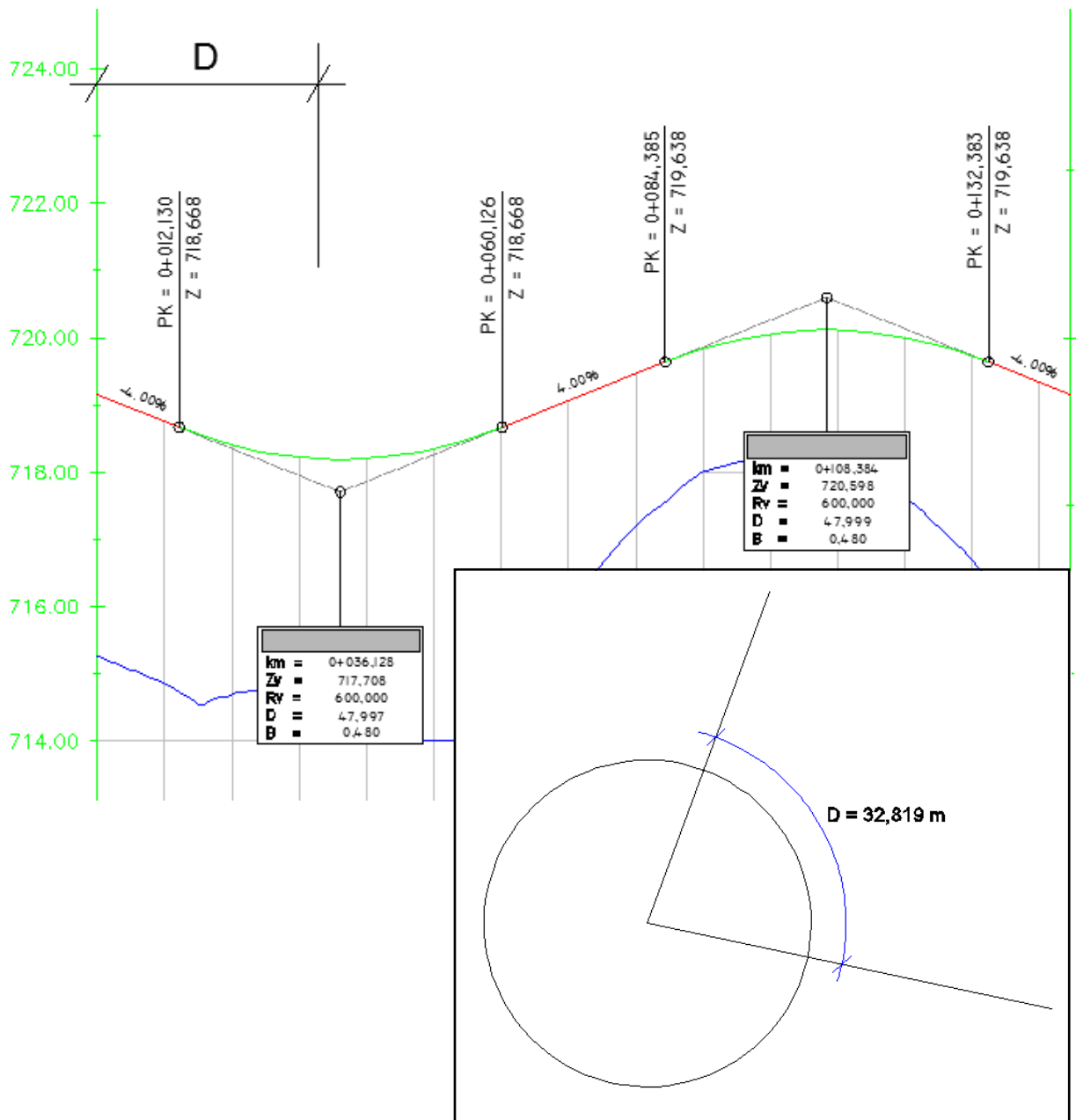


Figura 112 - Perfil Longitudinal da Rotunda A - Esquema auxiliar para a extração das cotas coincidente com o ramo D

Assim o Ramo D deverá finalizar-se à cota:

$$Z = 718,668 - (32,819 - 12,130) \times 0,04 + \frac{(32,819 - 12,130)^2}{2 \times 600} \leftrightarrow Z = 718,197 \text{ m}$$

Os pontos de partida atrás definidos obrigam a rasante a transcrever-se numa concordância de raio 6965,379 metros. Como as cotas dos pontos de partida são inferiores as de chegada e o último tranel

por questões de sobrelevação da rotunda obrigou-o a ter 2,5 % de inclinação é necessário dotar a rasante com uma concordância côncava com um raio de 800,000 metros, procedendo-se seguidamente a verificação para uma velocidade de 60,0 Km/h.

$$\frac{v^2}{R} < 0,5 \text{ m/s}^2 \rightarrow \frac{\left(\frac{60}{3,6}\right)^2}{800} < 0,347 \text{ m/s}^2$$

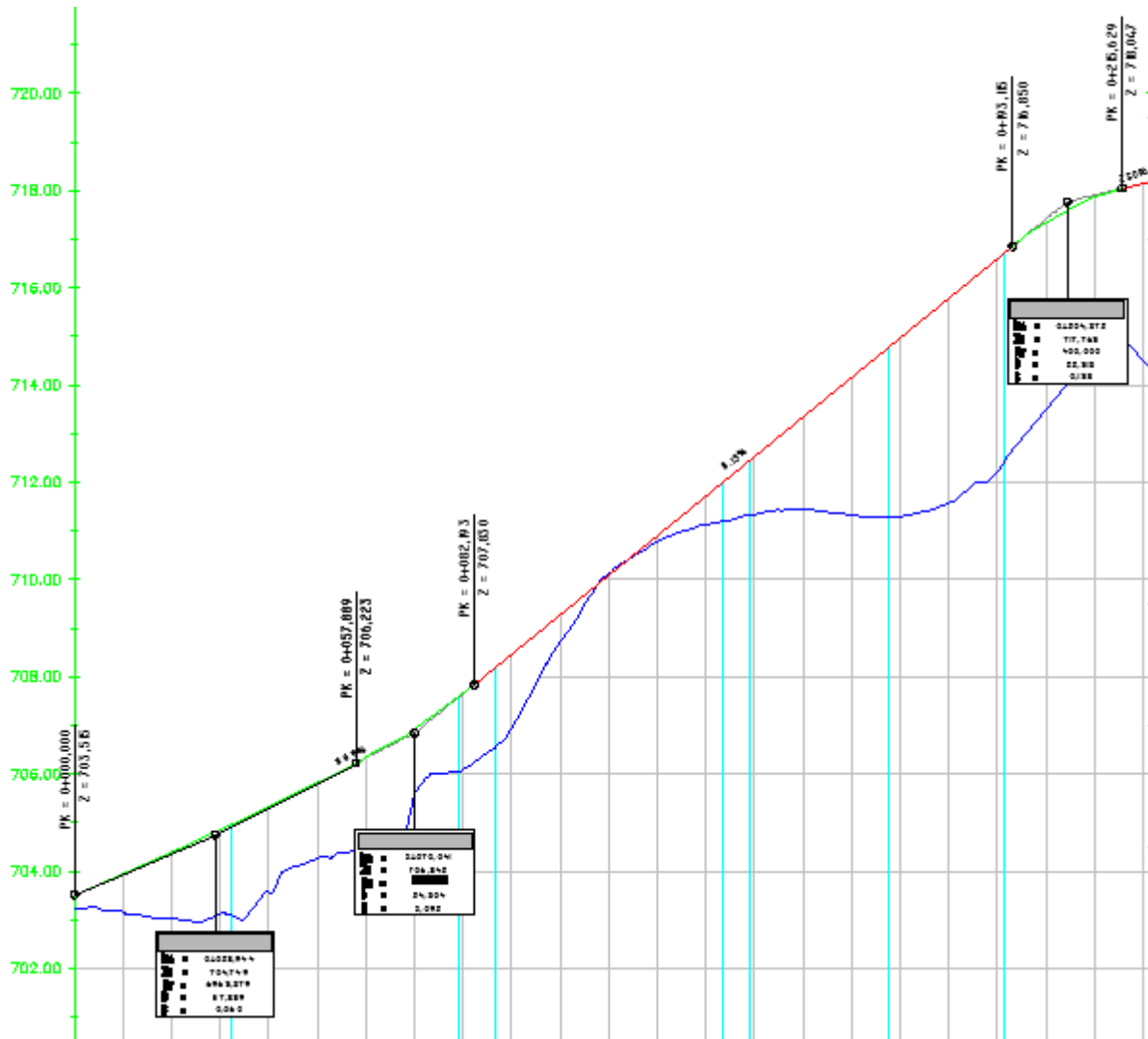


Figura 113 – Perfil Longitudinal do Ramo D

BIBLIOGRAFIA

Departamento Nacional de Infra-Estruturas de Transporte. 2005. *Manual de Projeto de Interseções*. Rio de Janeiro.

MOPU. *Recomendaciones para el Proyecto de Enlaces*. Direccion General de Carreteras – División de Planes y Tráfico.

Macedo, Joaquim Miguel Gonçalves. 2005. *Seleção da Tipologia de Cruzamentos em Função da Procura*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil do ramo Vias de Comunicação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Costa, Américo Pires. *Capítulo VI - Rotundas*. Faculdade de Engenharia do Porto.

BASTOS SILVA, A.M.C., SECO A. J. M., PICADO-SANTOS L.G, 1999. *O Dimensionamento de Rotundas*- Recomendações de Projecto, Edição FCTUC, Novembro, Coimbra-Portugal

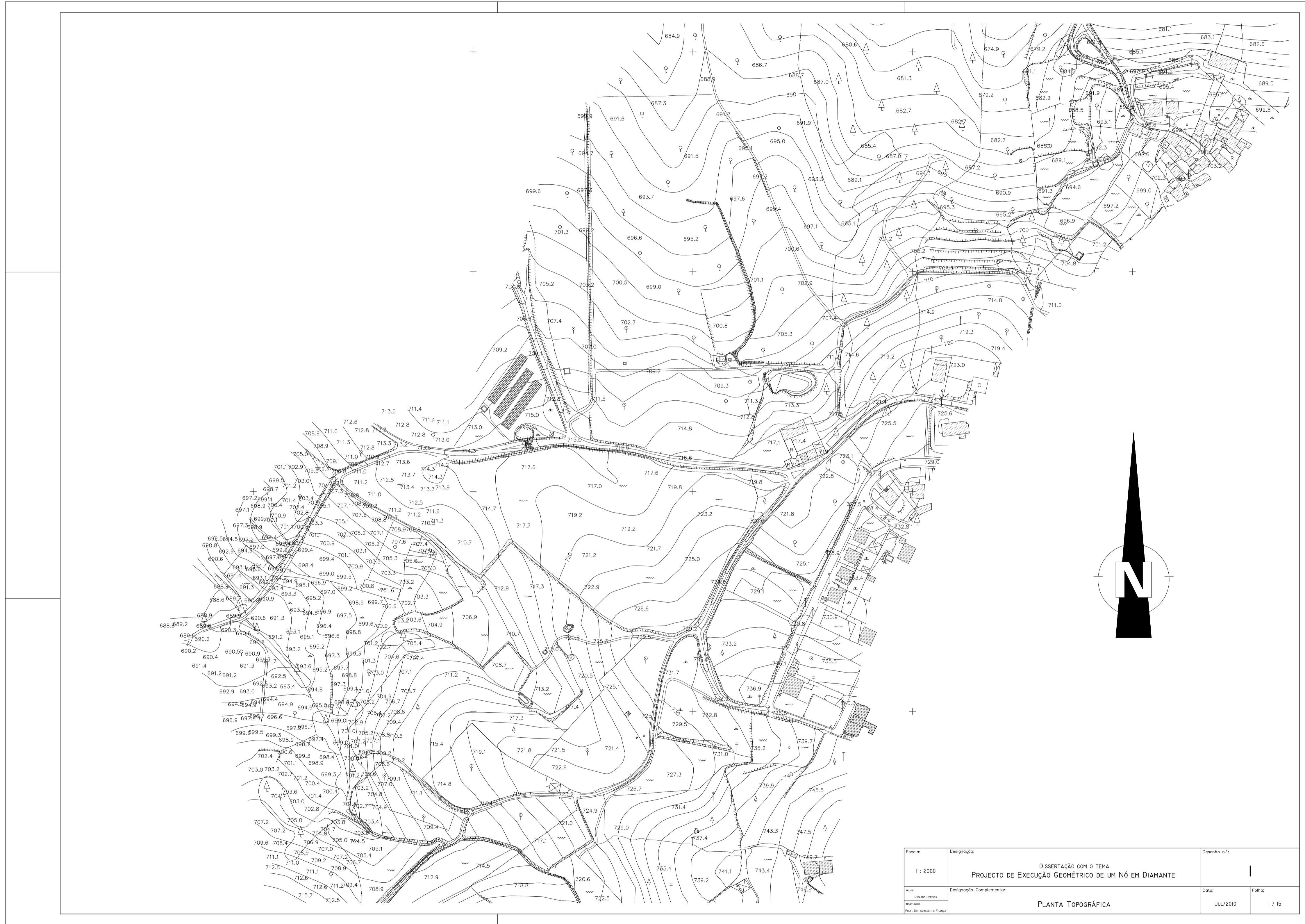
JAE, 1990 - *Norma de Interseções*, JAE P5/90 Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

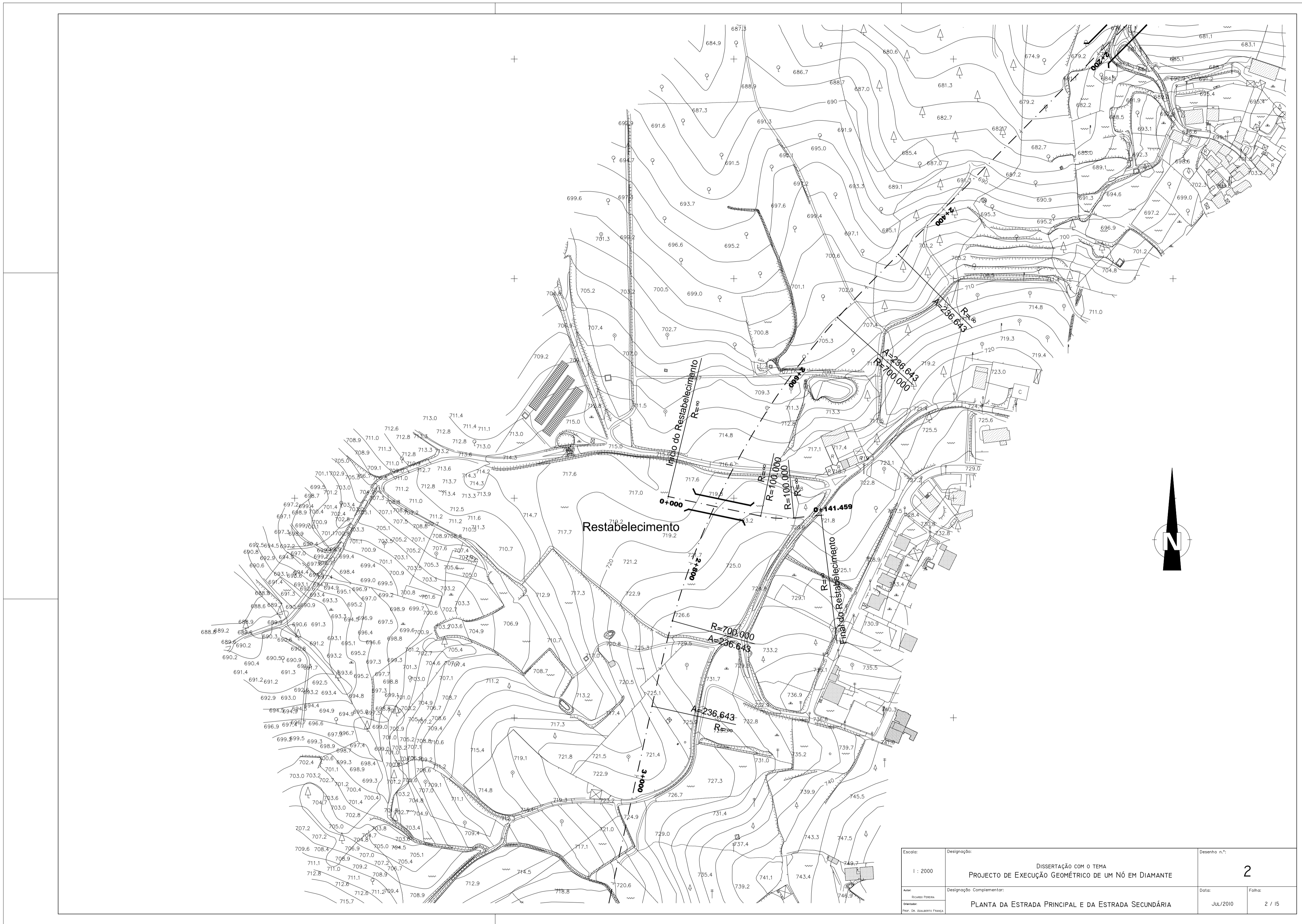
JAE, 1990 - *Norma de Nós de Ligação*, JAE P6/90 Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

JAE, 1994 - *Norma de traçado JAE P3/94*; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE Lisboa-Portugal

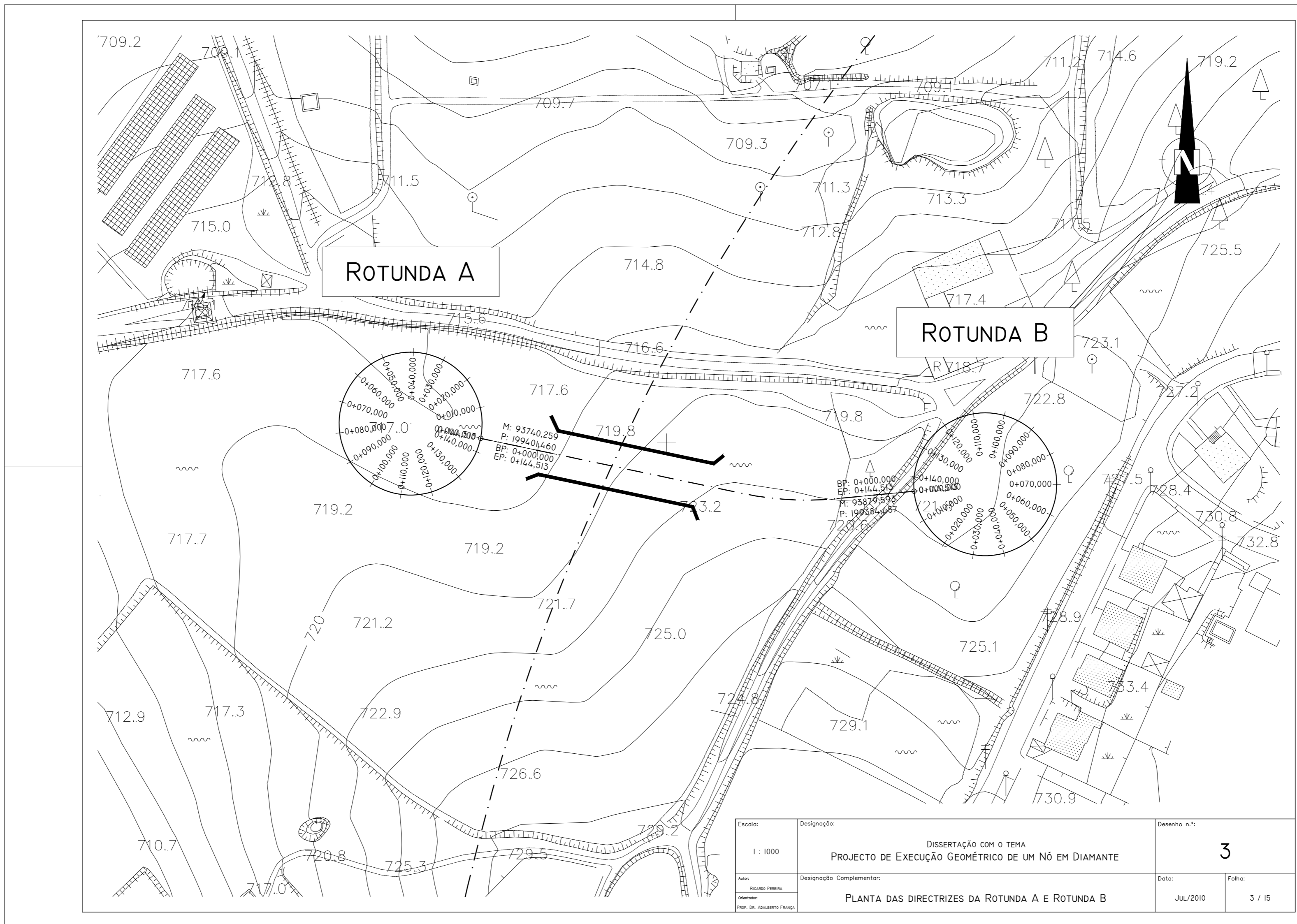
Alberta Transportation. 2004. *Highway geometric design guide*. Canadá

ANEXOS

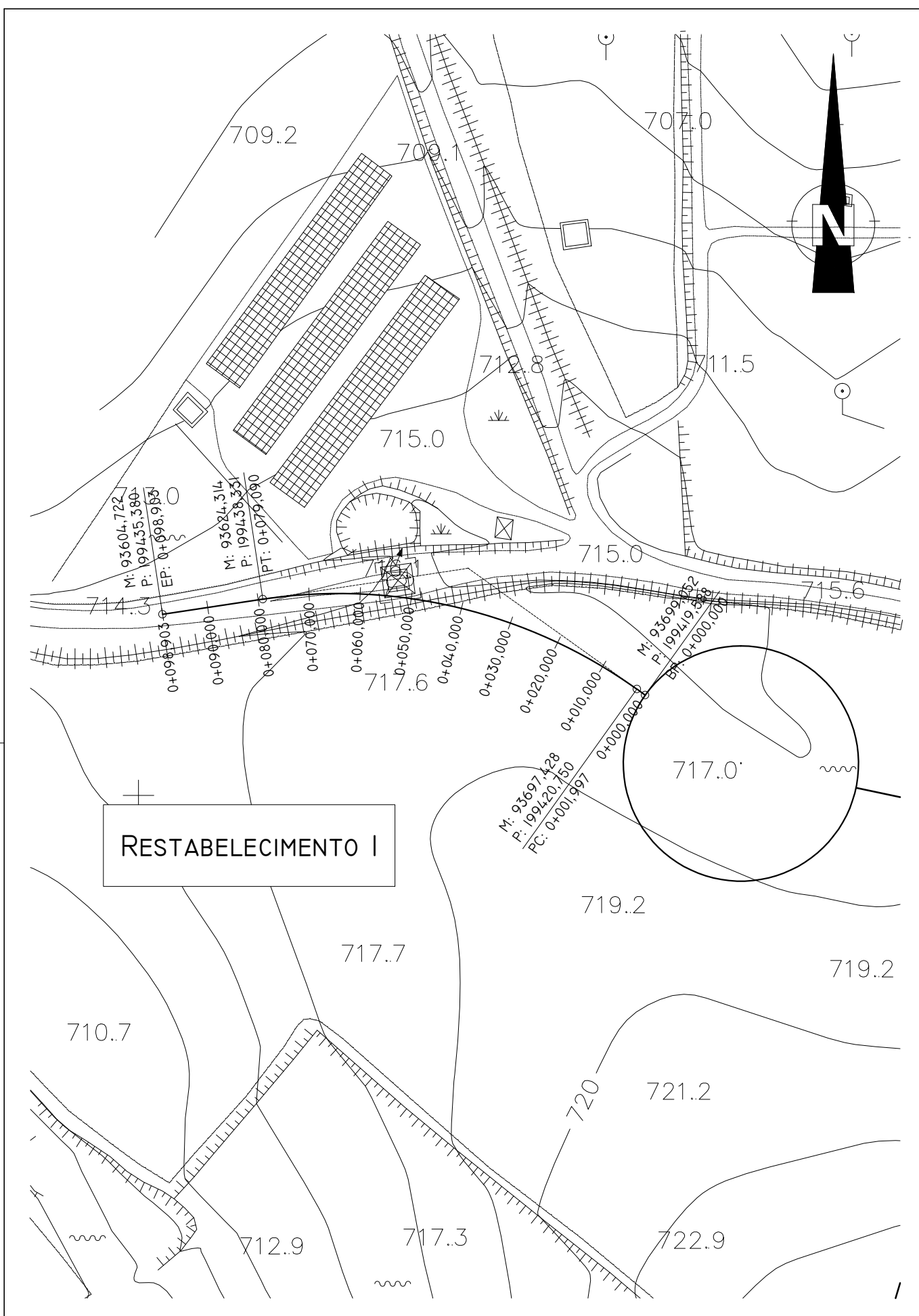




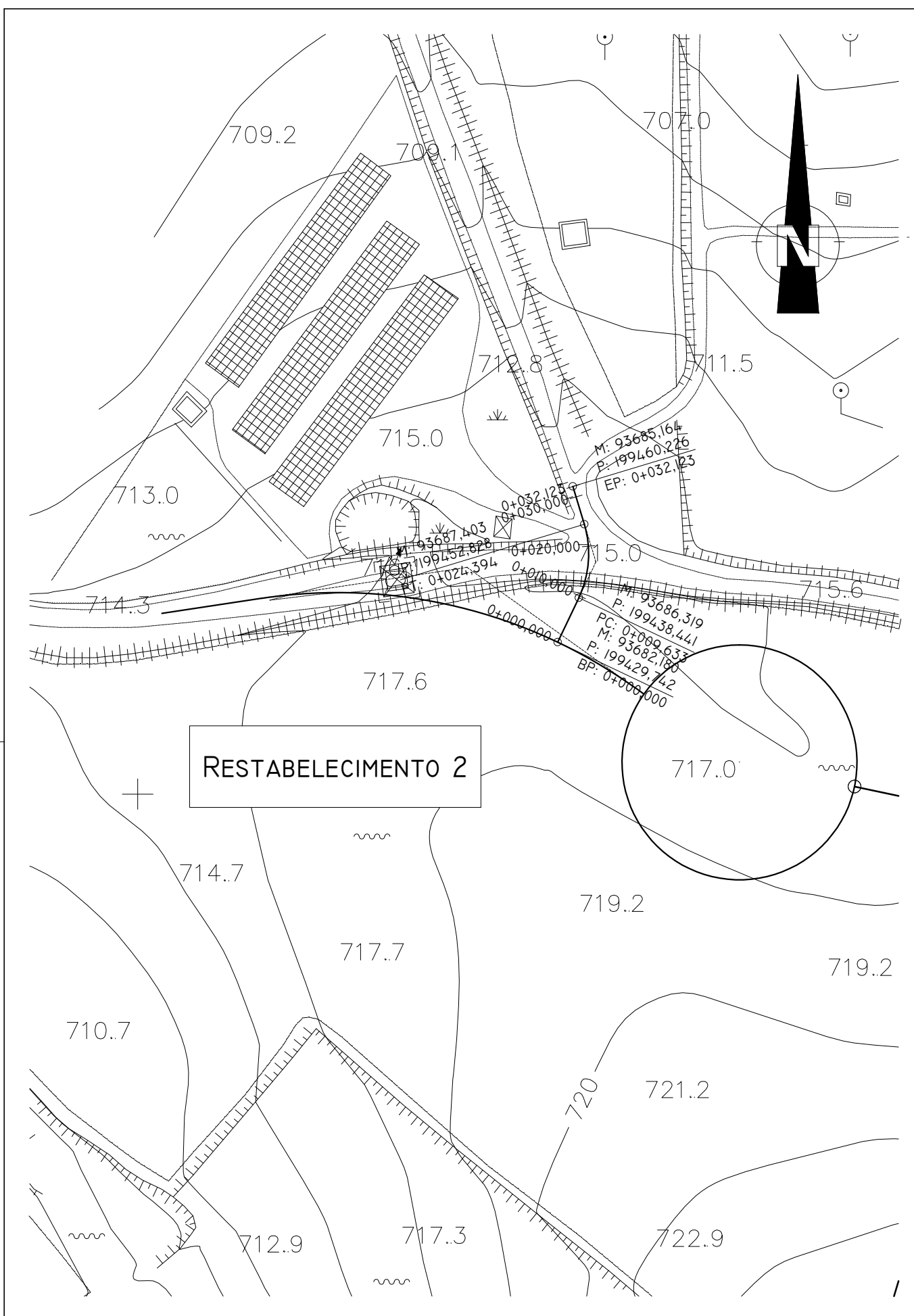
Escala: 1 : 2000	Designação: DISERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM N6 EM DIAMANTE	Desenho n.º: 2
Auto: ILÁRIO FERREIRA	Designação Complementar: PLANTA DA ESTRADA PRINCIPAL E DA ESTRADA SECUNDÁRIA	Data: JUL/2010
Director: PROF. DR. ANTONETTO FRANCA		Folha: 2 / 15



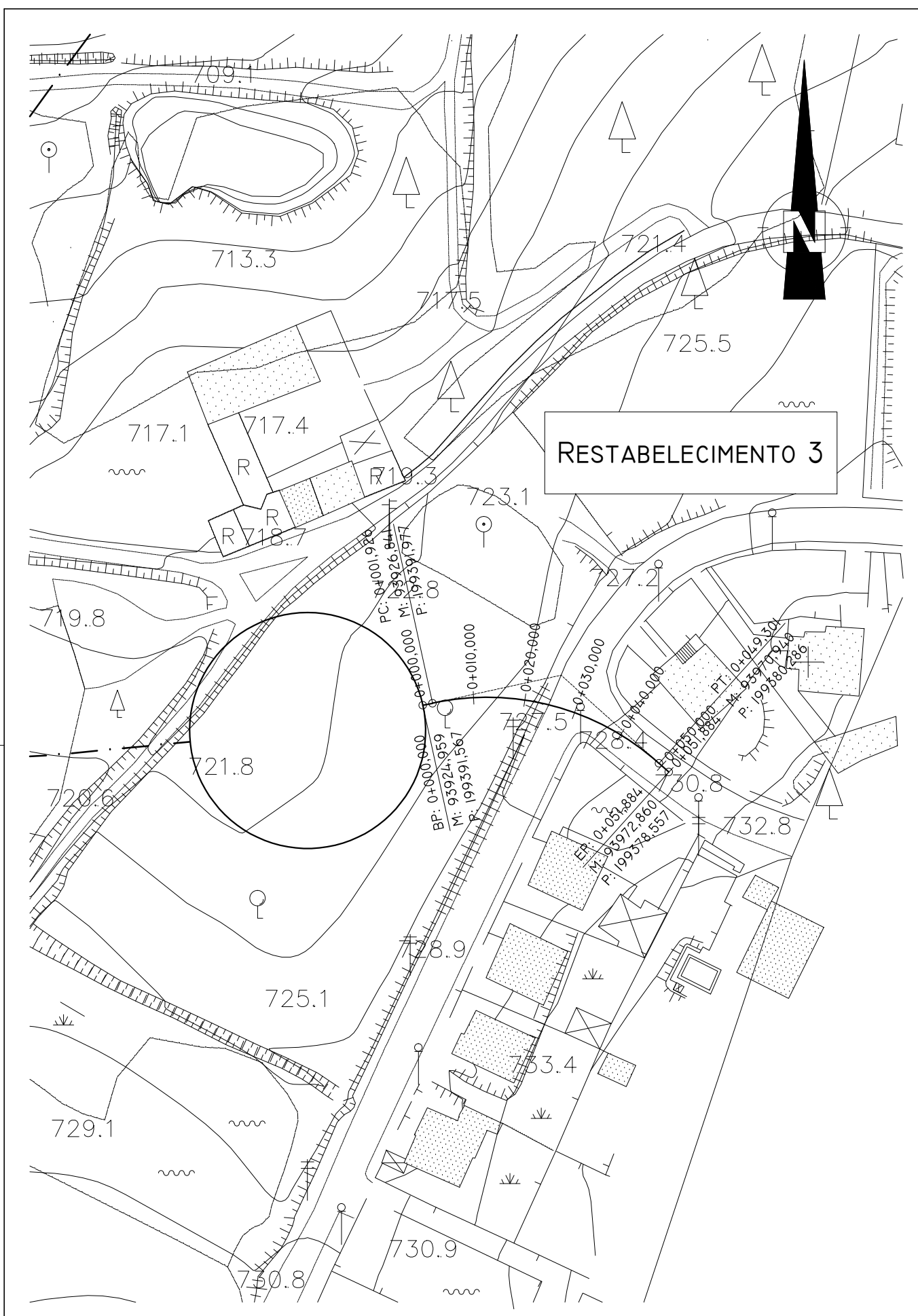
Escala: 1 : 1000	Designação: DISSERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 3	
Autor: RICARDO FERREIRA	Designação Complementar: PLANTA DAS DIRETRIZES DA ROTUNDA A E ROTUNDA B	Data: JUL/2010	Folhas: 3 / 15
Orientador: Prof. Dr. ALBERTO FRANÇA			



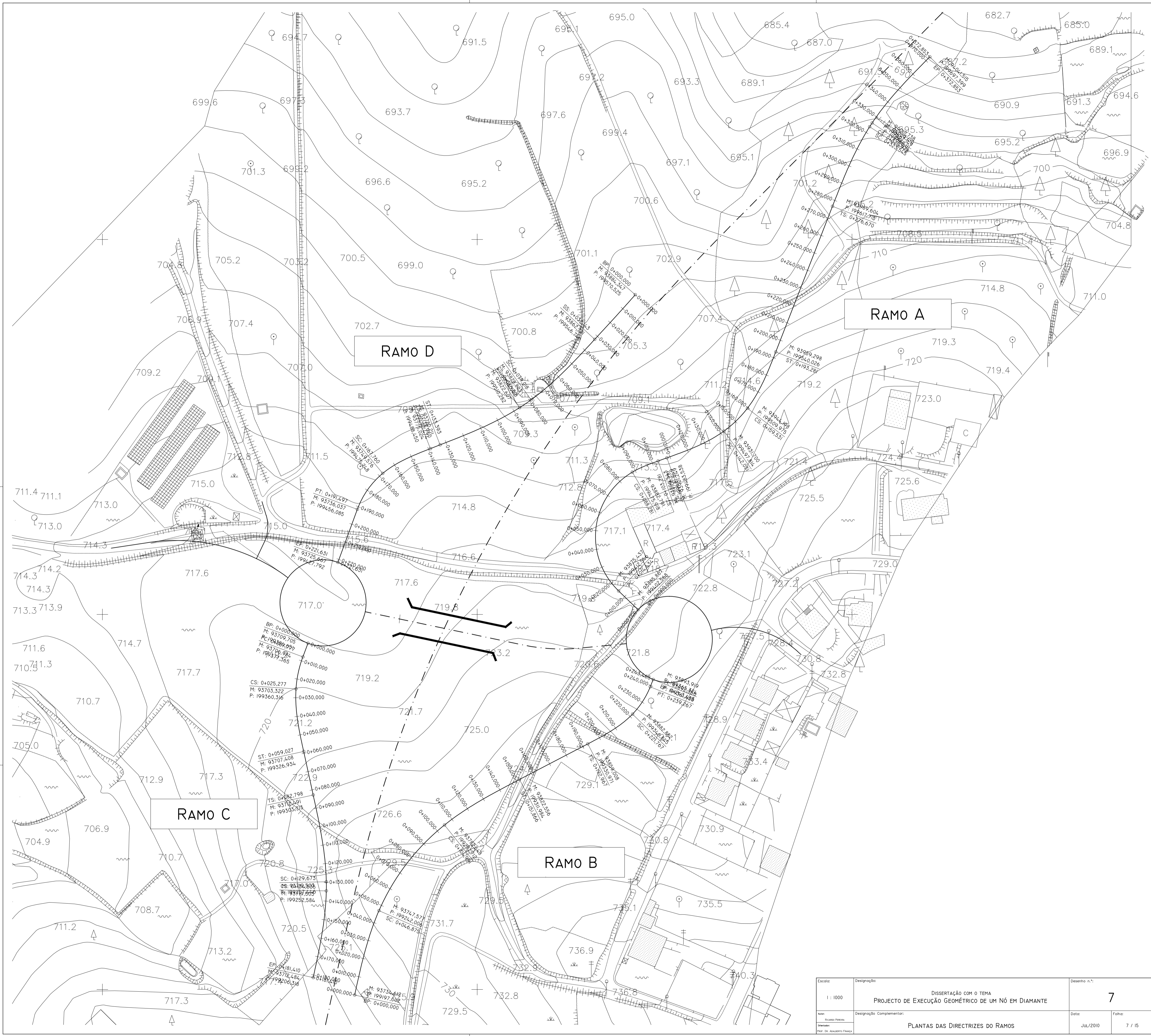
Escala: 1 : 2000	Designação: DISSERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 4	
Autor: RICARDO PEREIRA	Designação Complementar: PLANTA DA DIRECTRIZ DO RESTABELECIMENTO I	Data: JUL/2010	Folha: 4 / 15
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			



Escala: 1 : 1000	Designação: DISSERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 5	
Autor: RICARDO PEREIRA	Designação Complementar: PLANTA DA DIRECTRIZ DO RESTABELECIMENTO 2	Data: JUL/2010	Folha: 5 / 15
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

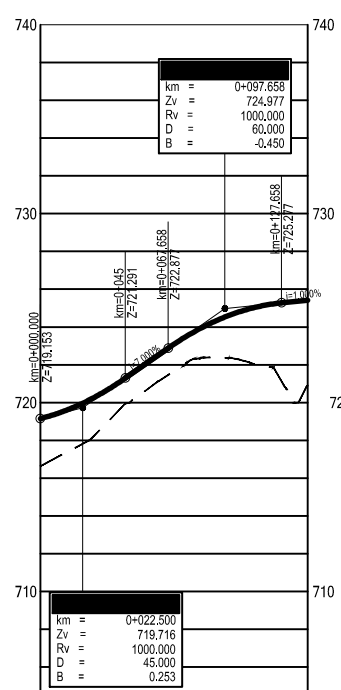


<p>Escala:</p> <p>1 : 1000</p>	<p>Designação:</p> <p>DISSERTAÇÃO COM O TEMA</p> <p>PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE</p>	<p>Desenho n.º:</p> <p>6</p>	
<p>Autor:</p> <p>RICARDO PEREIRA</p> <p>Orientador:</p> <p>PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA</p>	<p>Designação Complementar:</p> <p>PLANTA DA DIRECTRIZ DO RESTABELECIMENTO 3</p>	<p>Data:</p> <p>JUL/2010</p>	<p>Folha:</p> <p>6 / 15</p>



Escala: 1 : 1000	Designação: DISSERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 7
Auto: Rui Pedro Mestre Prof. Dr. António França	Designação Complementar: PLANTAS DAS DIRECTRIZES DO RAMOS	Data: JUL/2010 Folha: 7 / 15

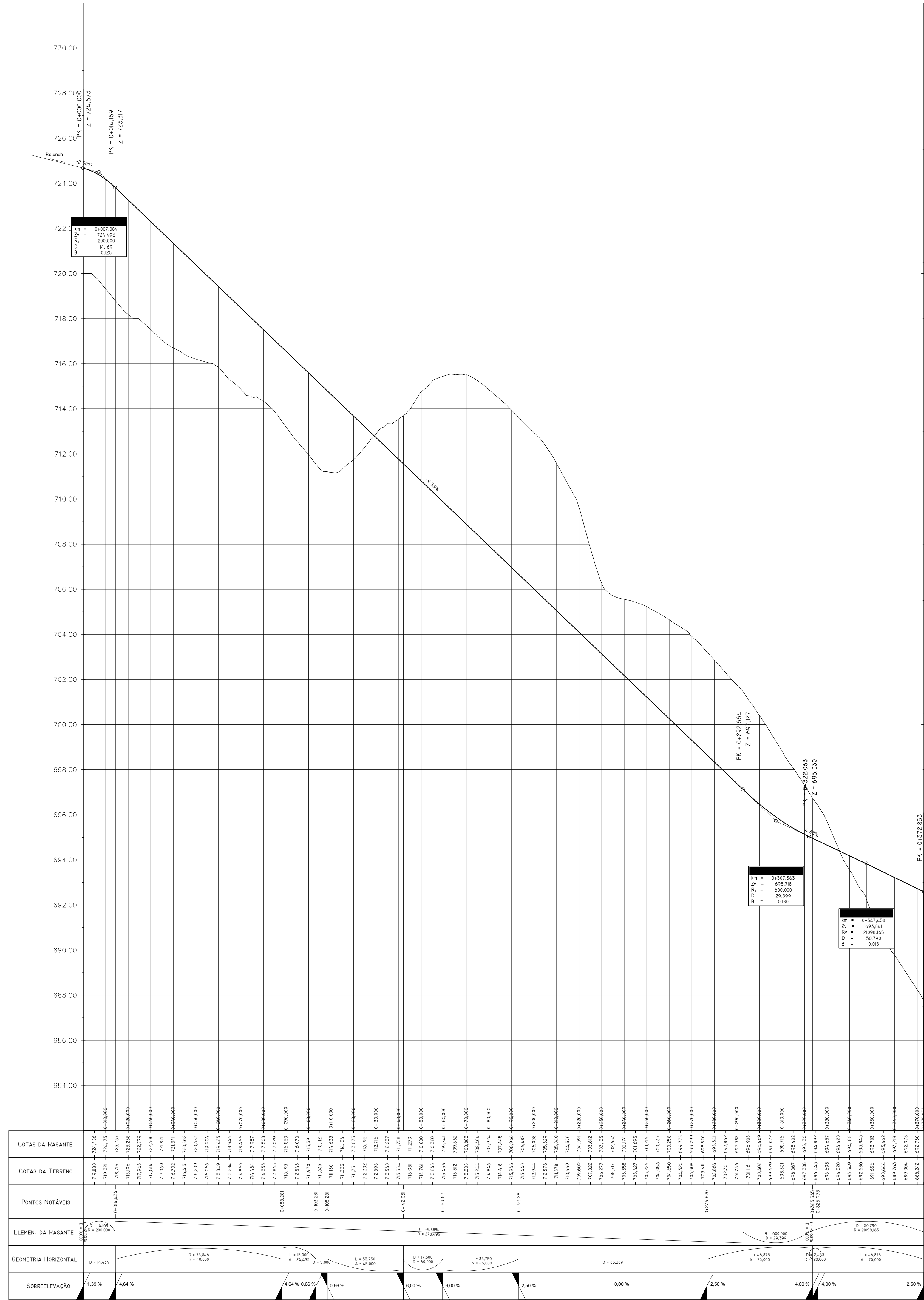
Perfil Longitudinal - Estrada Secundária



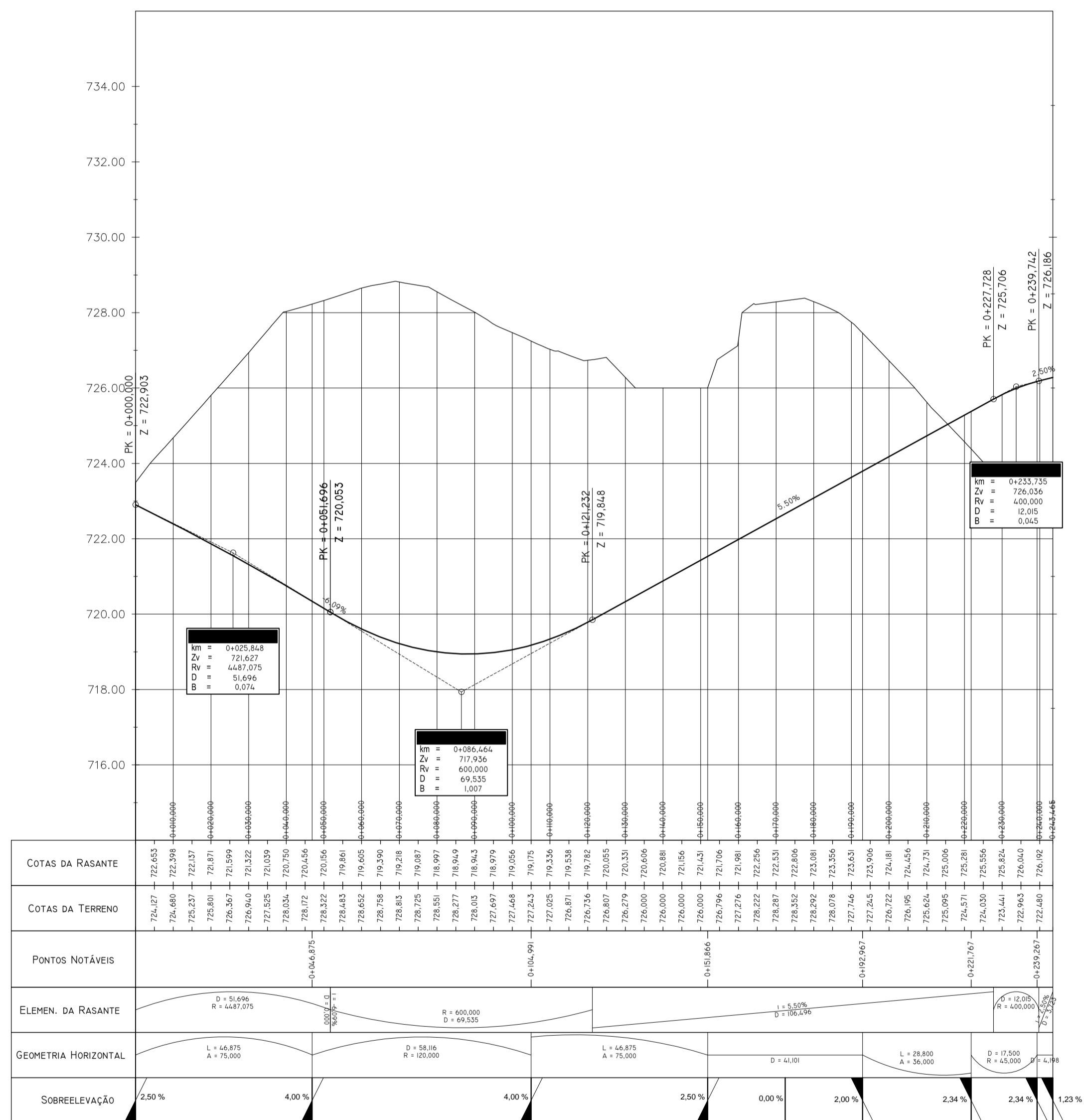
		QUILOMETRAGEM		0+000					0+141.460
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	719.153	720.091	721.641	723.364	724.618	725.247	725.415	
	COTAS DO TERRENO	716.63	717.85	720.23	721.90	722.37	721.59	720.88	
ELEMENTOS DA RASANTE		Rv=1000,000 D=45,000	i=7,000% p=22,658	Rv=1000,000 D=60,000	i=1,000% D=13,802				
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	4,0%	2,5%		2,5%	0,0%			
	PONTOS NOTÁVEIS				0+086,075	0+116,453			
	DIAGRAMA DE CURVAS		L=86,075 R=∞		R=100,000 D=30,377	L=25,007 R=∞			

Escala: 1 : 4000	Designação: DISSERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 10	
Autor: RICARDO PEREIRA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - ESTRADA SECUNDÁRIA	Data: JUL/2010	Folha: 10 / 15
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

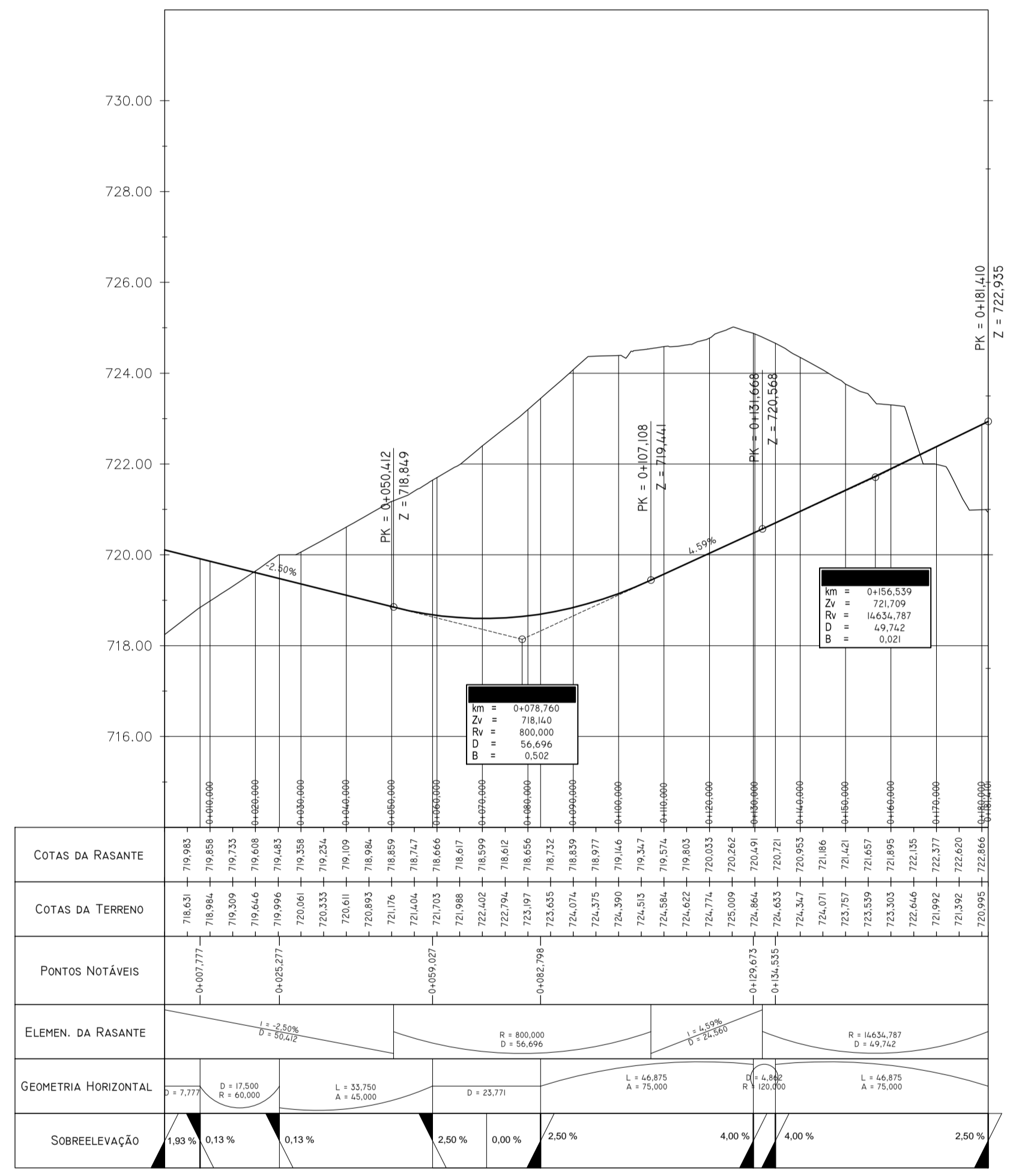
RAMO A - 1º QUADRANTE



RAMO B - 2º QUADRANTE



RAMO C - 3º QUADRANTE



Escala: 1 : 1000	Designação: DISSERTAÇÃO COM O TEMA PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 14
Autor: Ricardo Pereira Orientador: Prof. Dr. Joaquim Pais	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RAMO C	Data: JUL/2010 Folha: 14 / 15

