

PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO RODOVIÁRIO

PEDRO MANUEL AZEVEDO NUNES DA COSTA

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

JANEIRO DE 2011

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.

A meus Pais

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Muitas são as pessoas que me ajudaram ao longo do meu percurso académico e a quem devo agradecimentos pelo apoio que me deram na superação das dificuldades com que me defrontei. A amizade e camaradagem de uns e o profissionalismo de outros foram, e continuarão a ser, factores importantíssimos para o sucesso e concretização dos meus objectivos de vida.

A realização desta dissertação, mais do que um projecto, foi um desafio e uma componente essencial da minha aprendizagem, no culminar do curso superior de engenharia civil. Como autor deste documento, não podia deixar de fazer alguns agradecimentos especiais a todos aqueles que me acompanharam, me ajudaram e me incentivaram ao longo de todo o trabalho.

Começo por expressar a minha enorme gratidão ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, pelo forte empenho e rigor, e pela disponibilidade e simpatia com que sempre me orientou ao longo da elaboração desta dissertação.

O meu muito obrigado, também, a todos os colegas e amigos que, de uma forma directa ou indirecta, me ajudaram a ultrapassar as dificuldades e a aperfeiçoar o desenvolvimento do projecto. Um especial agradecimento à Joana, pelo seu sentido crítico e pela forma como me confortou nos momentos mais difíceis.

Para terminar, não posso deixar de expressar a minha gratidão aos que, com muito esforço e carinho, sempre se preocuparam e me ajudaram a construir o futuro. Para os meus pais, o meu mais profundo obrigado.

RESUMO

É principal objectivo desta dissertação, a elaboração de um Projecto de Execução de um nó rodoviário em diamante com duas rotundas.

Tal projecto requer em primeira análise uma boa concepção do seu “lay-out” atendendo à sua finalidade, bem como o estudo cuidadoso da geometria das vias pré-existentes, das características do terreno, e de todos os restantes condicionamentos que se impõem à obra. Esta primeira fase poderá ser decisiva para o sucesso do projecto, nos diversos aspectos técnicos, económicos e ambientais relacionados.

Após o enquadramento do nó em diamante no terreno, procedeu-se à localização mais conveniente das duas rotundas e à sua geometrização. Seguidamente realizou-se o traçado de todos os restabelecimentos necessários à manutenção da circulação nas vias pré-existentes e seu acesso ao nó, e por fim, o traçado dos ramos de ligação à estrada principal.

Este trabalho foi elaborado com a aplicação de conhecimentos adquiridos no Mestrado Integrado em Engenharia Civil na FEUP, com especial importância para as disciplinas Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II e Complementos de Estrada e Aeródromos.

Todos os processos de definição geométrica e analítica do nó foram realizados com o auxílio do programa para computador “AutoCAD Civil 3D 2010”.

PALAVRAS-CHAVE: Nó em Diamante, Rotunda, Ramos de Ligação, Restabelecimento, Rasante.

ABSTRACT

The main purpose of this thesis is the preparation of an Execution Project of a diamond interchange with two roundabouts.

Considering the purpose of such this project, in a first analysis, a good conception of its layout is required, as well as the careful study of the geometry of preexisting roads, the terrain characteristics, and all other restrictions that are imposed on the work. This first phase might be decisive for the success of the project, on the numerous technical, economic and environmental issues.

The diamond interchange was framed on the terrain, followed by finding the best location of the two roundabouts and their geometrization. Subsequently, the design was carried out for the reestablishment needed to maintain the traffic of the preexisting roads as well as their access to the interchange, and for the branches connected to the main road.

This work was done by applying knowledge acquired in the Master in Civil Engineering at FEUP, with particular importance for the disciplines "Roads I", "Roads II" e "Complements of Roads and Airports".

All the processes in the analytical and geometrical definition of the diamond interchange were performed with the computer program "AutoCAD Civil 3D 2010".

KEYWORDS: Diamond Interchange, Roundabouts, Connection Branches, Reestablishment, Longitudinal Profile.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ECONOMIA, SEGURANÇA E COMODIDADE	1
1.2. DISPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO	1
2. ESCOLHA DO “LAY-OUT” DO NÓ DE LIGAÇÃO	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO E DO TERRENO DE IMPLANTAÇÃO DO NÓ	5
2.3. NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS. CRITÉRIOS DE ESCOLHA.	6
3. RELATÓRIO DE EXECUÇÃO	7
3.1. ENQUADRAMENTO	7
3.1.1. ESTRADA PRINCIPAL	7
3.1.2. LOCALIZAÇÃO DO NÓ EM DIAMANTE	10
3.2. ROTUNDAS	11
3.2.1. PREÂMBULO	11
3.2.2. ROTUNDA A	12
3.2.3. ROTUNDA B	15
3.3. RESTABELECIMENTOS	18
3.3.1. INTRODUÇÃO	18
3.3.2. RESTABELECIMENTO 1	18
3.3.3. RESTABELECIMENTO 2	21
3.3.4. RESTABELECIMENTO 3	24
3.3.5. RESTABELECIMENTO 4	26
3.3.6. RESTABELECIMENTO 5	29
3.4. RAMOS DE LIGAÇÃO	32
3.4.1. PREÂMBULO	32
3.4.2. RAMO I	34

3.4.3. RAMO II.....	43
3.4.4. RAMO III.....	50
3.4.5. RAMO IV	59
3.4.6. SOLUÇÃO DE DRENAGEM	68
3.5. VIAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE	69
3.5.1. VIAS DE ABRANDAMENTO	70
3.5.2. VIAS DE ACELERAÇÃO.....	70
4. CONCLUSÕES	71
BIBLIOGRAFIA.....	73
ANEXOS.....	i
A1 ESTUDOS EFECTUADOS PARA AS INTERSECÇÕES ENTRE ROTUNDAS E RAMOS DE LIGAÇÃO	iii
A2 ESTUDOS EFECTUADOS PARA AS INTERSECÇÕES ENTRE ROTUNDAS E RESTABELECIMENTOS ...	v
A3 NORMAS APLICADAS DA JUNTA AUTÓNOMA DAS ESTRADAS.....	vii
A4 NORMAS ESPANHOLAS PARA VIAS DE ABRANDAMENTO.....	ix
A5 NORMAS ESPANHOLAS PARA VIAS DE ACELERAÇÃO	x
A6 OUTROS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO RAMOS DOS NÓS.....	xi

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Nó em diamante na saída da A28 para freguesia de Lavra	3
Fig. 2 – Nó em meio-trevo completo na intersecção da Estrada da Circunvalação com a Via Norte	4
Fig. 3 – Nó em trompete na intersecção da IC23 com a A3	4
Fig. 4 – Terreno de implantação	5
Fig. 5 – Planta da estrada principal.....	Erro! Marcador não definido.
Fig. 6 – Perfil longitudinal da estrada principal	8
Fig. 7 – Zona de intersecção do restabelecimento 1 com a E.P.	10
Fig. 8 – Dimensões de construção geométrica da rotunda	11
Fig. 9 – Directriz da rotunda A.....	12
Fig. 10 – Perfil longitudinal da rotunda A	13
Fig. 11 – Dimensões da rotunda A.....	14
Fig. 12 – Directriz da rotunda B.....	15
Fig. 13 – Perfil longitudinal da rotunda B	16
Fig. 14 – Dimensões da rotunda B.....	17
Fig. 15 – Planta do restabelecimento 1.....	19
Fig. 16 – Perfil longitudinal do restabelecimento 1	19
Fig. 17 – Planta do restabelecimento 2.....	22
Fig. 18 – Perfil longitudinal do restabelecimento 2	23
Fig. 19 – Planta do restabelecimento 3.....	24
Fig. 20 – Perfil longitudinal do restabelecimento 3	25
Fig. 21 – Planta do restabelecimento 4.....	26
Fig. 22 – Perfil longitudinal do restabelecimento 4	28
Fig. 23 – Planta do restabelecimento 5.....	29
Fig. 24 – Perfil longitudinal do restabelecimento 5	31
Fig. 25 – Planta do ramo I	34
Fig. 26 – Construção geométrica da “curva em S” do ramo I.....	36
Fig. 27 – Perfil longitudinal do ramo I.....	38
Fig. 28 – Pormenor da ligação do ramo I com a estrada principal	40
Fig. 29 – Planta do ramo II	43
Fig. 30 – Construção geométrica da “curva em S” do ramo II	45
Fig. 31 – Perfil longitudinal do ramo II.....	46

Fig. 32 – Pormenor da ligação do ramo II com a estrada principal.....	47
Fig. 33 – Planta do ramo III	50
Fig. 34 – Construção geométrica da “curva em S” do ramo III	53
Fig. 35 – Perfil longitudinal do ramo III	54
Fig. 36 – Pormenor de condicionantes de ocupação do solo para o ramo III.....	55
Fig. 37 – Pormenor de ligação do ramo III com a estrada principal.....	56
Fig. 38 – Planta do ramo IV.....	59
Fig. 39 – Construção geométrica da curva ovóide do ramo IV	62
Fig. 40 – Perfil longitudinal do ramo IV.....	63
Fig. 41 – Pormenor de ligação do ramo IV com a estrada principal	65
Fig. 42 – Directriz do tudo de escoamento de água.....	68
Fig. 43 – Via de abrandamento do ramo I	69
Fig. 44 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda A e os eixos dos ramos I e II	iii
Fig. 45 – Intersecção entre a rasante da rotunda A e os eixos dos ramos I e II.....	iii
Fig. 46 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda B e os eixos dos ramos III e IV.....	iv
Fig. 47 – Intersecção entre a rasante da rotunda B e os eixos dos ramos III e IV	iv
Fig. 48 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda A e os eixos dos restabelecimentos 1, 2 e 3 .	v
Fig. 49 – Intersecção entre a rasante da rotunda A e os eixos dos restabelecimentos 1, 2 e 3	v
Fig. 50 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda B e os eixos dos restabelecimentos 1, 4 e 5 .	vi
Fig. 51 – Intersecção entre a rasante da rotunda B e os eixos dos restabelecimentos 1, 4 e 5	vi

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Coordenadas do eixo da estrada principal	9
Quadro 2 – Coordenadas do eixo da rotunda A	12
Quadro 3 – Cotas e características definidoras da rasante da rotunda A	14
Quadro 4 – Coordenadas do eixo da rotunda B	16
Quadro 5 – Cotas e características definidoras da rasante da rotunda B	17
Quadro 6 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 1	20
Quadro 7 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 1	21
Quadro 8 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 2	22
Quadro 9 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 2	23
Quadro 10 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 3	24
Quadro 11 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 3	25
Quadro 12 – Coordenadas do eixo de restabelecimento 4	27
Quadro 13 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 4	28
Quadro 14 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 5	30
Quadro 15 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 5	31
Quadro 16 – Extensão mínima das curvas de transição	32
Quadro 17 – Coordenadas da directriz do ramo I.....	35
Quadro 18 – Estudo da clotóide (1) do ramo I.....	36
Quadro 19 – Estudo das clotóides (2) e (3) do ramo I.....	36
Quadro 20 – Estudo geral da “curva em S” do ramo I.....	36
Quadro 21 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo I.....	39
Quadro 22 – Estudo da intersecção do ramo I com a estrada principal.....	41
Quadro 23 – Estudo da sobrelevação e da sobrelargura no ramo I.....	42
Quadro 25 – Coordenadas da directriz do ramo II.....	44
Quadro 26 – Estudo das clotóides (1) e (2) do ramo II.....	45
Quadro 27 – Estudo da clotóide (3) do ramo II.....	45
Quadro 28 – Estudo geral da “curva em S” do ramo II.....	45
Quadro 29 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo II.....	47
Quadro 30 – Estudo da intersecção do ramo II com a estrada principal.....	48
Quadro 31 – Estudo da sobrelevação e da sobrelargura no ramo II.....	49
Quadro 32 – Coordenadas da directriz do ramo III.....	51

Quadro 33 – Estudo da Clotóide (1) do ramo III	52
Quadro 34 – Estudo das clotóides (2), (3), (4) e (5) do ramo III	52
Quadro 35 – Estudo geral da “curva em S” do ramo III	52
Quadro 36 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo III	56
Quadro 37 – Estudo da intersecção do ramo III com a estrada principal	57
Quadro 38 – Estudo da sobrelevação e da sobrelargura no ramo III	58
Quadro 39 – Coordenadas da directriz do ramo IV	60
Quadro 40 – Estudo da clotóide (1) do ramo IV	61
Quadro 41 – Estudo da clotóide (2) do ramo IV	61
Quadro 42 – Estudo geral da curva ovóide do ramo IV	61
Quadro 43 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo IV	64
Quadro 44 – Estudo da intersecção do ramo IV com a estrada principal	66
Quadro 45 – Estudo da sobrelevação e da sobrelargura no ramo IV	67
Quadro 46 – Estudo das vias de abrandamento	70
Quadro 47 – Estudo das vias de aceleração	70
Quadro 48 – Estudo dos ramos I e II nos pontos de intersecção com a rotunda A	iii
Quadro 49 – Estudo dos ramos III e IV nos pontos de intersecção com a rotunda B	iv
Quadro 50 – Estudo dos restabelecimentos 1, 2 e 3 nos pontos de intersecção com a rotunda A	v
Quadro 51 – Estudo dos restabelecimentos 1, 4 e 5 nos pontos de intersecção com a rotunda B	vi
Quadro 52 – Norma da variação máxima da sobrelevação nos ramos dos nós	vii
Quadro 53 – Norma da sobrelargura das curvas dos ramos dos nós	vii
Quadro 54 – Norma da diferença máxima entre as inclinações transversais dos ramos e da E.P na zona pavimentada comum	vii
Quadro 55 – Norma da distância de visibilidade de paragem (DVP)	viii
Quadro 56 – Norma do comprimento das vias de abrandamento (traineis com $i \leq \pm 2\%$)	ix
Quadro 57 – Factor correctivo do comprimento das vias de abrandamento	ix
Quadro 58 – Norma do comprimento das vias de aceleração (traineis com $i \leq \pm 2\%$)	x
Quadro 59 - Factor correctivo do comprimento das vias de aceleração	x
Quadro 60 – Inclinações máximas recomendadas dos traineis dos ramos dos nós	xi

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

JAЕ – Junta Autónoma das Estradas

E.P. – Estrada principal

O.A. – Obra-de-arte

m – Metro

Km/h – Quilómetro por hora

rad – Radianos

R – Raio

ΔR – Ripagem

R_{\min} – Raio mínimo

i – Inclinação longitudinal

$i_{E.P.}$ – Inclinação longitudinal da estrada principal

D – Desenvolvimento de concordância / distância entre dois centros de curvas circulares

L – Extensão da curva de transição

A – Parâmetro da clotóide

V – Velocidade

V_{projecto} – Velocidade de projecto do ramo do nó

$V_{B.E.P.}$ – Velocidade base da estrada principal

DVP – Distância de visibilidade de paragem

R_g – Raio grande

R_p – Raio pequeno

Se – Sobreelevação

ΔSe – Variação da sobreelevação

Se_{ramo} – Sobreelevação no ramo de ligação do nó

$Se_{\text{rest.}}$ – Sobreelevação no restabelecimento

SI – Sobrelargura

Z – Cota

$F_{\text{correctivo}}$ – Factor correctivo da extensão da via de variação de velocidade

L_{efectivo} – Extensão efectiva da via de variação de velocidade

Dist. – Distância

Clot. – Clotóide

1

INTRODUÇÃO

1.1 ECONOMIA, SEGURANÇA E COMODIDADE

Ao longo da história, nas mais diversas comunidades, as deslocações foram sempre uma necessidade, e fizeram sempre parte da rotina diária de cada ser humano. À medida que as sociedades crescem, o conceito de mobilidade de pessoas e bens tem sido cada vez mais sinónimo de qualidade de vida e de incentivo ao desenvolvimento social e económico em cada região.

Nos tempos modernos, para além do crescente número de deslocações diárias, têm aumentado também as exigências relativas aos acessos e ao tempo despendido nas viagens. A acompanhar o crescimento das referidas necessidades, as vias de comunicação têm sido progressivamente criadas e aperfeiçoadas com o objectivo de poder servir o maior número de utilizadores, permitindo-lhes o acesso aos mais diversos destinos.

Por outro lado, o exponencial crescimento dos volumes de veículos em circulação nas estradas e o aumento das velocidades de tráfego tem levado a que todos os projectos relacionados com vias de comunicação sejam cada vez mais condicionados por critérios de segurança e comodidade. Em Portugal, para a definição destes critérios, são ainda utilizadas as antigas normas estabelecidas pela Junta Autónoma das Estradas (JAE).

O objectivo desta dissertação, é a elaboração de um projecto de execução geométrico um nó rodoviário em diamante, que, simultaneamente, cumpra todas as normas da ex-JAE, e garanta todas as funções para o qual foi concebido. Procurou-se, neste processo, contornar todos os factores condicionantes, como a topografia e a ocupação do solo, para que a solução final fosse a mais económica e segura possível.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está disposta em 4 capítulos.

No primeiro, e presente capítulo, faz-se uma breve introdução ao tema da dissertação expondo o seu principal objectivo. Refere-se ainda a forma como está organizada a dissertação e a disposição dos vários capítulos.

No segundo capítulo procede-se a uma justificação fundamentada da escolha da tipologia do nó de ligação. Como tal, revelam-se todas as vantagens e desvantagens da utilização do nó em diamante, dentro do contexto e do enquadramento do espaço em que o projecto está inserido.

O principal e o mais extenso dos capítulos será o terceiro. Este capítulo será essencialmente de componente teórico-prática e irá abordar, passo a passo, todas as etapas necessárias para a realização do nó em diamante. Em cada etapa serão analisados todos os factores condicionantes e serão estudadas soluções para a resolução dos vários problemas emergentes. Ao longo de todo o capítulo serão apresentados quadros de valores relevantes, figuras e textos explicativos de todo o processo de geometrização do nó.

Por fim, no quarto e último capítulo, serão relatadas algumas conclusões e críticas finais do autor, relacionadas com o resultado final do projecto realizado.

Em anexo, estão incluídas todas as peças desenhadas assim como algumas normas, cálculos e figuras elucidativas dos processos de elaboração do Projecto de Execução.

2

ESCOLHA DO “LAY-OUT” DO NÓ DE LIGAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Estabelecendo, através de ramos, a ligação entre duas estradas que se intersectam a níveis diferentes, o nó de ligação é concebido com a principal finalidade de eliminar ou simplificar alguns movimentos de viragem causadores de pontos de conflito. O atravessamento é um dos movimentos que é eliminado, e que seria o resultado da intersecção nivelada entre a estrada principal e a estrada secundária. As viragens também terão menos pontos de conflito, passando estes a existir apenas na estrada secundária. Para além de melhorar a segurança, a utilização de nós de ligação tem também a vantagem de aumentar a capacidade.

A classificação dos nós de ligação pode ser dividida em três famílias principais: nó em trevo (meio-trevo incompleto, meio-trevo completo e trevo); nó em diamante; e por fim, constituído por apenas por três ramos, nó em trompette. Nas figuras seguintes apresentam-se alguns exemplos de nós de ligação na região do Grande Porto.



Fig. 1 – Nó em diamante na saída da A28 para freguesia de Lavra



Fig. 2 – Nó em meio-trevo completo na intersecção da Estrada da Circunvalação com a Via Norte



Fig. 3 – Nó em trompeta na intersecção da IC23 com a A3

Existem diversos factores que condicionam a escolha do local e da tipologia do nó rodoviário. Alguns dos factores mais importantes para a escolha do local do nó são o traçado das vias pré-existentes, a topografia e as características geotécnicas do terreno escolhido para a implantação da obra. A função e as características do tráfego, tanto das vias secundárias como da principal, são factores preponderantes para a decisão da tipologia do nó. Em todos os casos existem vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO E DO TERRENO DE IMPLANTAÇÃO DO NÓ

O nó de ligação, do projecto em estudo, será implantado numa zona rural, num terreno ligeiramente acidentado e maioritariamente de utilização agrícola – figura 4. No mesmo terreno, existem, apesar de muito poucas, algumas construções e obstáculos tais como, habitações, armazéns, fábricas, caminhos e estradas secundárias, poços, tanques, postes de iluminação pública, poste e torres de alta tensão, um lago, etc.

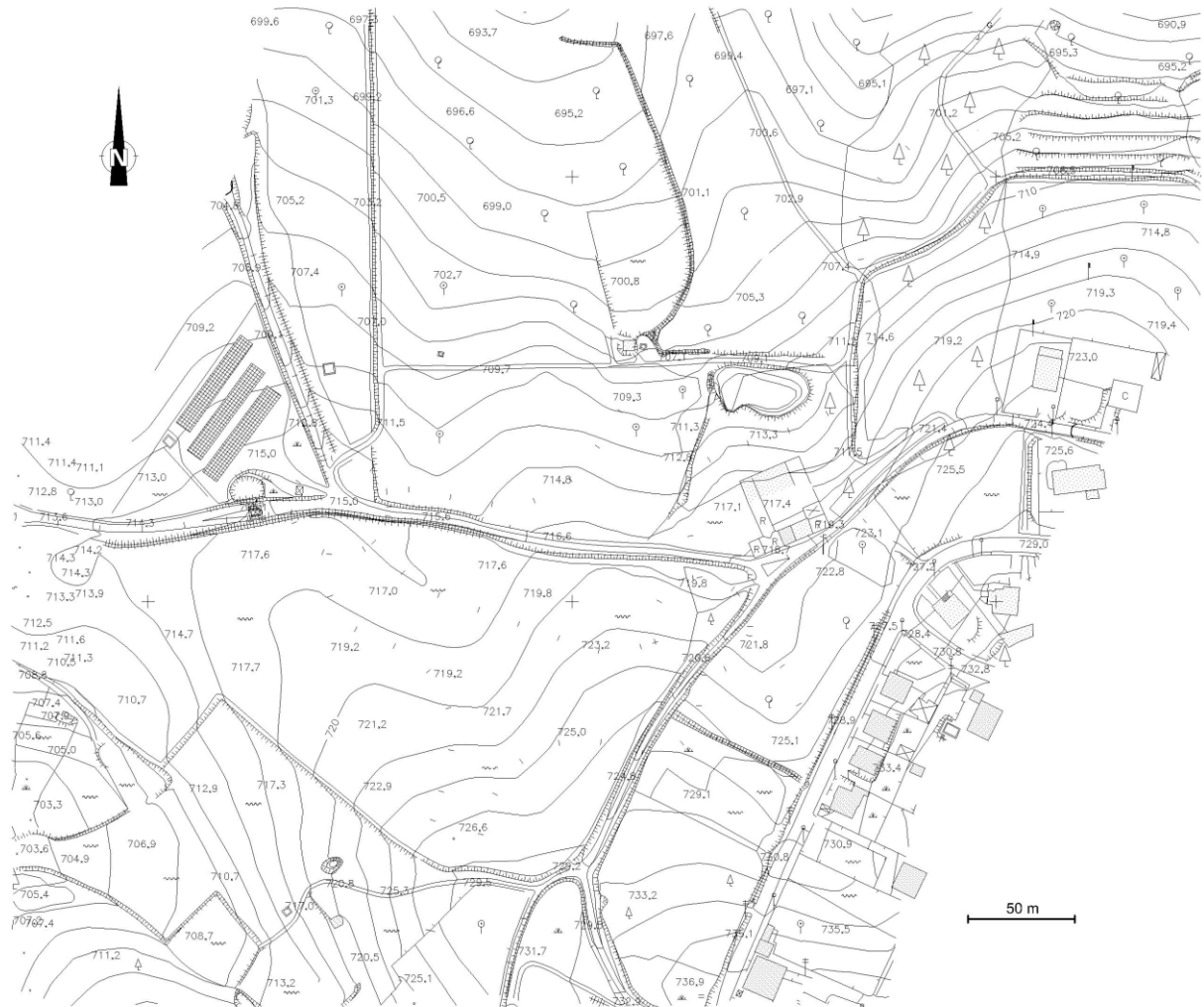


Fig. 4 – Terreno de implantação

O objectivo do nó é a ligação entre a rede local e um itinerário complementar que irá atravessar o território sumariamente descrito. A definição do itinerário principal e a localização aproximada do nó de ligação foram dados previamente fornecidos. Foi concedida ainda a informação de que o volume de tráfego na rede local é bastante reduzido e sem previsão de significativo crescimento a longo prazo. Deste modo, a tentativa de optimização económica da obra, neste projecto, dependerá sobretudo do desenho geométrico do nó.

2.3 NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS. CRITÉRIOS DE ESCOLHA.

Neste trabalho, a escolha do nó em diamante foi o resultado da análise de várias vantagens e desvantagens relativamente a outras soluções.

A principal vantagem deste tipo de nó é o facto dos ramos de saída da estrada principal (E.P.) se localizarem antes da obra de arte e os ramos de entrada se localizarem depois. Por um lado, evitam-se situações de entrecruzamento na via principal, por outro, não existindo vias auxiliares sob ou sobre a obra de arte, diminui-se a largura ou o vão necessários para a sua construção.

Por motivos que serão explicados no capítulo seguinte, a estrada secundária cruzará a estrada principal a um nível superior. Esta situação também se torna uma vantagem no nó em diamante. Em primeiro lugar, permite que os condutores tomem conhecimento da proximidade do cruzamento com mais antecedência. Em segundo, os ramos de entrada passam a ser em declive e os ramos de saída em rampa, o que favorece as variações de velocidade e torna a saída e a entrada na E.P. mais cómoda e segura.

As principais desvantagens do nó em diamante estão localizadas na estrada secundária. Num caso clássico de nó em diamante, passam a existir quatro viragens à esquerda na estrada secundária que levam a um aumento significativo dos pontos de conflito e à conseqüente redução da capacidade. Por outro lado, a sua utilização apresenta o inconveniente de poder induzir em erro alguns condutores mais distraídos, tornando menos clara a proibição de manobras erradas. A situação mais grave é a possibilidade de entrada nos ramos de sentido único em contra-mão.

Com vista a atenuar estes efeitos indesejáveis, decidiu-se utilizar a rotunda como elemento de intersecção da estrada secundária com os ramos de ligação. Este procedimento, cada vez mais utilizado, tem a vantagem de eliminar as viragens à esquerda e tornar mais legível o conjunto, evitando entradas na E.P. em contra-mão. Outra razão bastante relevante para a utilização das intersecções giratórias neste projecto será a necessidade de ligar mais de quatro “ramos” em cada rotunda, designadamente ramos de ligação e restabelecimentos, como se irá verificar no capítulo seguinte. Numa intersecção prioritária normal, esta situação seria inconcebível.

Existem ainda outras vantagens na utilização de rotundas. Uma delas é facilitar as manobras de inversão de marcha nas estradas secundárias de dois sentidos ligadas às rotundas. O carácter colector e distribuidor das rotundas permite desta forma uma maior flexibilidade de movimentos na rede local.

Importa referir ainda que, no terreno de implantação do nó, existe espaço suficiente para a construção das rotundas. Muitas vezes a área requerida para a criação das rotundas é um factor fortemente condicionante e desvantajoso.

3

RELATÓRIO DE EXECUÇÃO

3.1 ENQUADRAMENTO

3.1.1 ESTRADA PRINCIPAL

O traçado em planta, e o perfil longitudinal da estrada principal, foram elementos fornecidos para a realização do projecto, com o detalhe necessário, incluindo coordenadas da directriz, cotas da rasante e larguras do perfil transversal-tipo.

Na figura 5 está representada a zona sugerida para a realização do nó em diamante, assim como parte do eixo da E.P. entre os quilómetros 2+400 e 3+000, definido pela linha de maior espessura. A inclinação longitudinal deste troço tem um valor constante de 5,00% – figura 6. A sobrelevação é igual a 5,50% em toda a extensão da curva circular de raio 700m.

A E.P. tem duas faixas com duas vias cada. As larguras de cada via, da berma exterior, da berma interior e do separador do tipo “New Jersey” são, respectivamente, iguais a 3,5m, 2,5m, 1m e 0,6m.

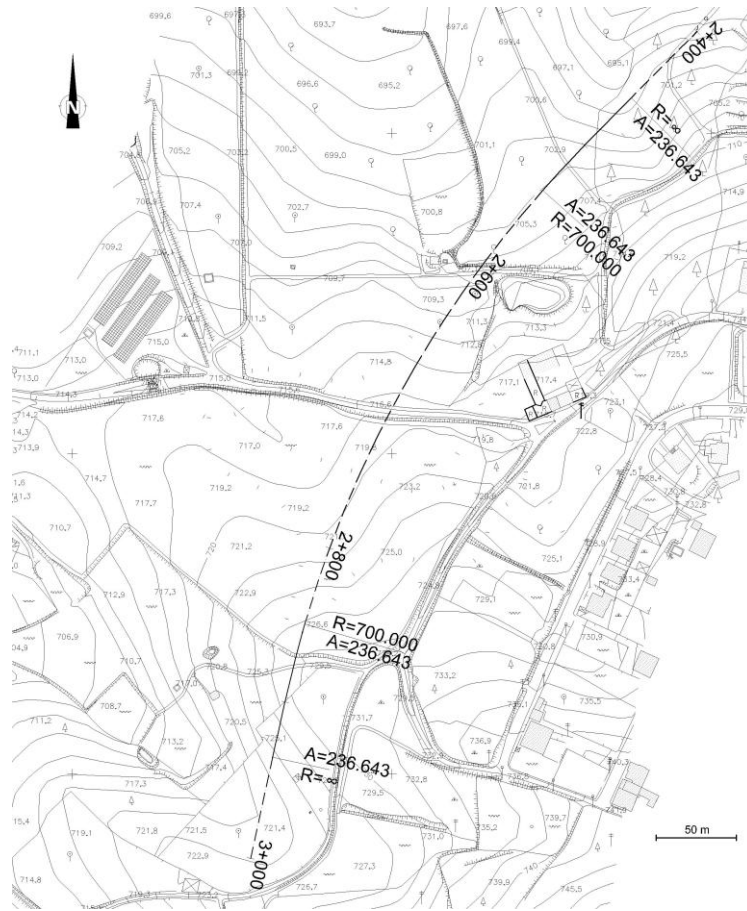


Fig. 5 – Diretriz da estrada principal

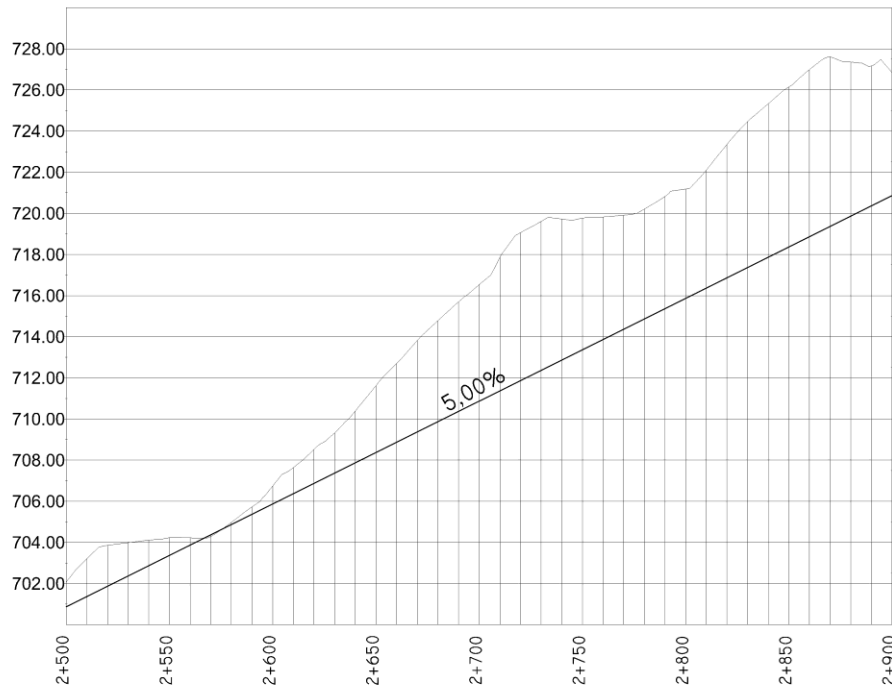


Fig. 6 – Perfil longitudinal da estrada principal

Quadro 1 – Coordenadas do eixo da estrada principal

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	2+400,00	93991,024	199663,380	
Alinhamento recto				
TS	2+258,30	93949,903	199622,048	
Clotóide				
SC	2+538,30	93894,577	199564,280	
CCC		94418,200	199099,716	Curva Circular
CS	2+849,83	93745,590	199293,612	
Clotóide				
ST	2+935,34	93725,483	199210,516	
Alinhamento recto				
F	3+000,00	93711,647	199147,355	

Legenda: I - Início

TS – Osculação alinhamento recto - clotóide

SC – Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS – Osculação curva circular - clotóide

ST – Osculação clotóide – alinhamento recto

F – Fim

3.1.2 LOCALIZAÇÃO DO NÓ EM DIAMANTE

A construção da E.P., tal como mostra a figura 7, implicará o corte de uma estrada secundária pelo que, se torna necessário criar um restabelecimento (intitulado como restabelecimento 1) que garanta a continuidade da mesma. Pode-se desde já adiantar, que este restabelecimento passará sobre a estrada principal com recurso a uma obra de arte. Na figura 7 está representado o primeiro esboço do seu eixo. A escolha do seu traçado é justificada com maior pormenor no subcapítulo 3.3.1.

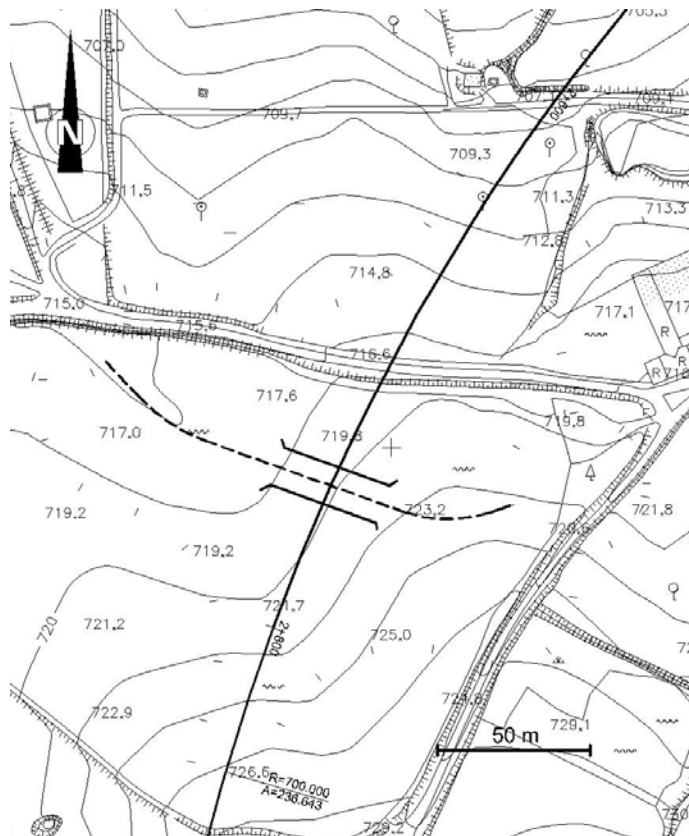


Fig. 7 – Zona de intersecção do restabelecimento 1 com a E.P.

A intersecção entre o eixo da E.P. e do restabelecimento torna-se portanto, como um ponto de partida, e de referência, para a implantação do nó em diamante.

3.2 ROTUNDAS

3.2.1 PREÂMBULO

A construção de um nó rodoviário, neste caso em diamante, obriga o projectista à criação de elementos de intersecção, que estabelecem a ligação entre as estradas secundárias da rede local, o restabelecimento 1, e os ramos de ligação à estrada principal.

Neste projecto foram criadas duas intersecções giratórias de nível. Uma no lado oeste, e outra no lado este da estrada principal. A localização destes elementos é primordial no dimensionamento do nó em diamante, pois é deles que partem os ramos de ligação. As rotundas devem garantir um desnível e um afastamento em relação à E.P., que possibilite o dimensionamento dos ramos de ligação com um raio, um desenvolvimento e uma inclinação adequada.

Não existindo, no terreno, condicionamentos relevantes à geometria das duas rotundas, adoptaram-se, respeitando as Normas de das Intersecções e as Normas Provisórias de Intersecções Giratórias, algumas características geométricas, semelhantes, para ambas:

- Raio da ilha central (R_i) = 15m;
- Raio exterior (R_e) = 23m;
- Largura da faixa de rodagem com duas vias (l) = 8m;
- Sobreelevação constante com drenagem para o exterior (Se) = 2,5%.

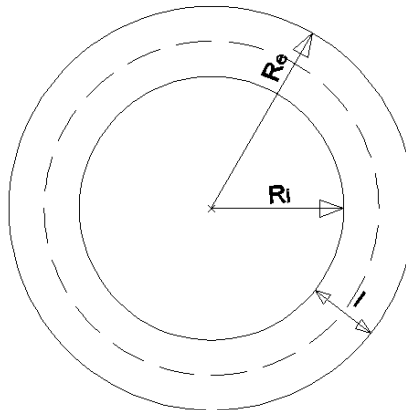


Fig. 8 – Dimensões de construção geométrica da rotunda

Nos perfis longitudinais dos bordos exteriores, a inclinação dos traineis e o raio das concordâncias, respeitam também os limites impostos pelas normas. Em ambas as rotundas, as inclinações longitudinais são inferiores a 4% e os raios das concordâncias superiores a 400m.

3.2.2 ROTUNDA A

Localizada a oeste da E.P., situa-se aproximadamente no ponto de intersecção de duas estradas secundárias – figura 9. Um dos fundamentos desta escolha foi aproveitar o traçado já existente, de forma a simplificar ao máximo os trabalhos de movimentos de terra e de terraplanagem. Por outro lado, procurou-se não aproximar demasiadamente a rotunda da E.P.

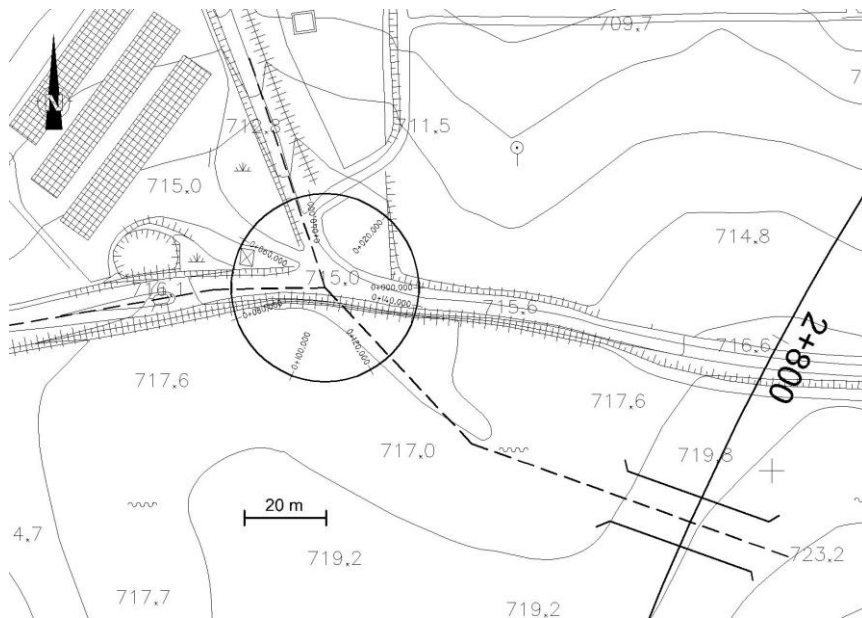


Fig. 9 – Directriz da rotunda A

Para a definição das coordenadas da rotunda, foi necessário, em primeiro lugar, fixar as coordenadas do centro e, a partir deste, definir todos os pontos do círculo, através da equação 1.

$$(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2 = R^2 \quad (1)$$

Quadro 2 – Coordenadas do eixo da rotunda A

Ponto	[m]	M	P
I	0+000,00	93713,638	199444,719
F	0+144,51		
CR		93690,638	199444,719

Legenda: I - Início

F – Fim

CR – Centro da rotunda

Tal como foi dito anteriormente, o restabelecimento 1 passará sobre a estrada principal. Como tal, as normas da JAE impõem um “gabarit” mínimo entre a rasante da E.P. e a laje de suporte da obra de arte, por onde passa o restabelecimento 1. Logo, se este se encontra ligado às duas rotundas, a cota do ponto de intersecção de cada uma delas com o restabelecimento 1, deverá ser suficientemente elevada, de forma a facilitar o cumprimento das referidas normas – figura 10. Por outro lado, para um bom funcionamento dos mecanismos de drenagem, a rotunda também não deverá estar em escavação. Note-se no perfil longitudinal, representado na figura 10, que toda a rotunda foi dimensionada em aterro.

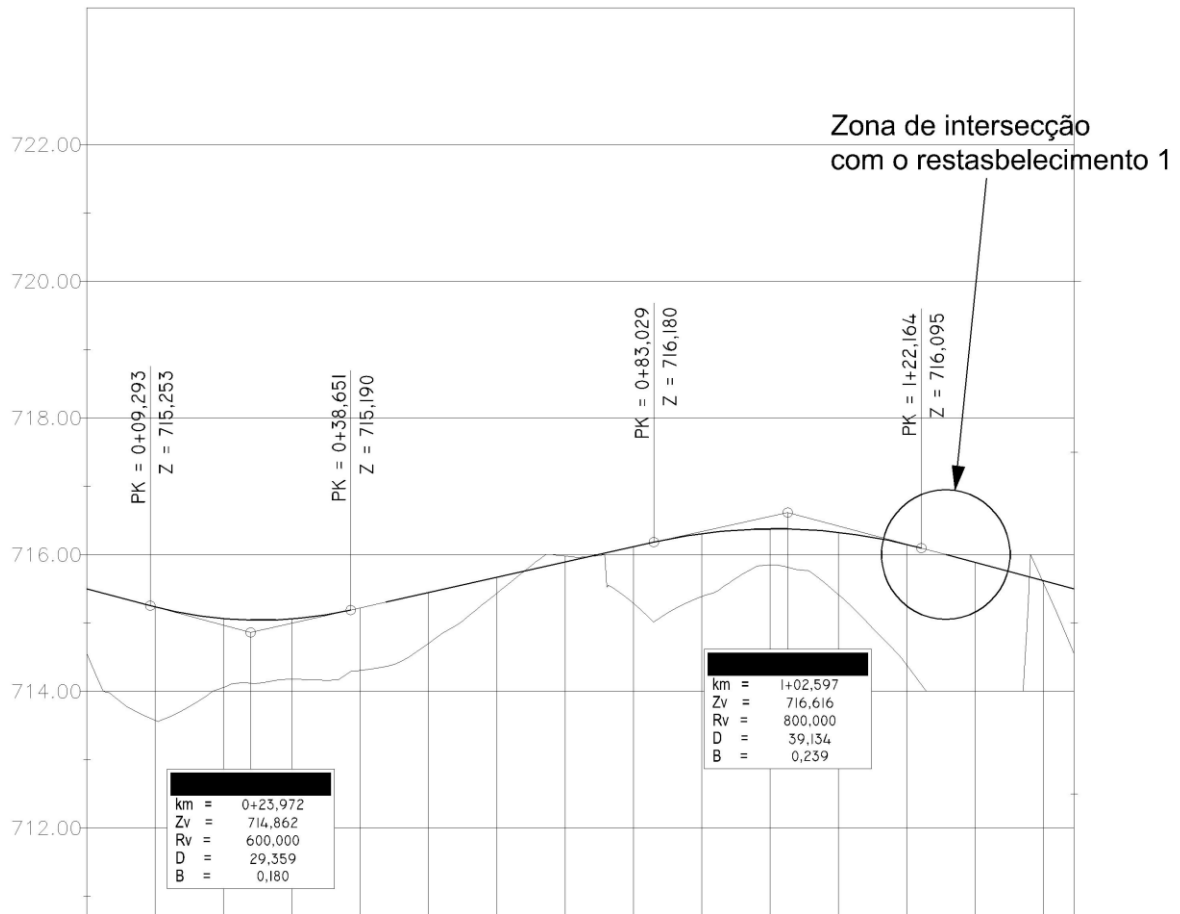


Fig. 10 – Perfil longitudinal da rotunda A

Quadro 3 – Cotas e características definidoras da rasante da rotunda A

[m]	Cota [m]	Elementos	Características		
0+000,000	715,500		i	-2,66	%
		Trainel	i	-2,66	%
0+009,300	715,253		D	9,300	m
		Concordância	R	-600,000	m
0+038,644	715,190		D	29,345	m
		Trainel	i	2,23	%
0+083,021	716,180		D	44,377	m
		Concordância	R	800,000	m
0+122,172	716,095		D	39,151	m
		Trainel	i	-2,66	%
0+144,513	715,500		D	22,341	m
			i	-2,66	m

Os raios, assim como as larguras, das vias de entrada e saída na rotunda, estão representados na figura 11. Praticamente todos os raios, com a excepção de um deles, correspondem ao valor aconselhado pela JAE.

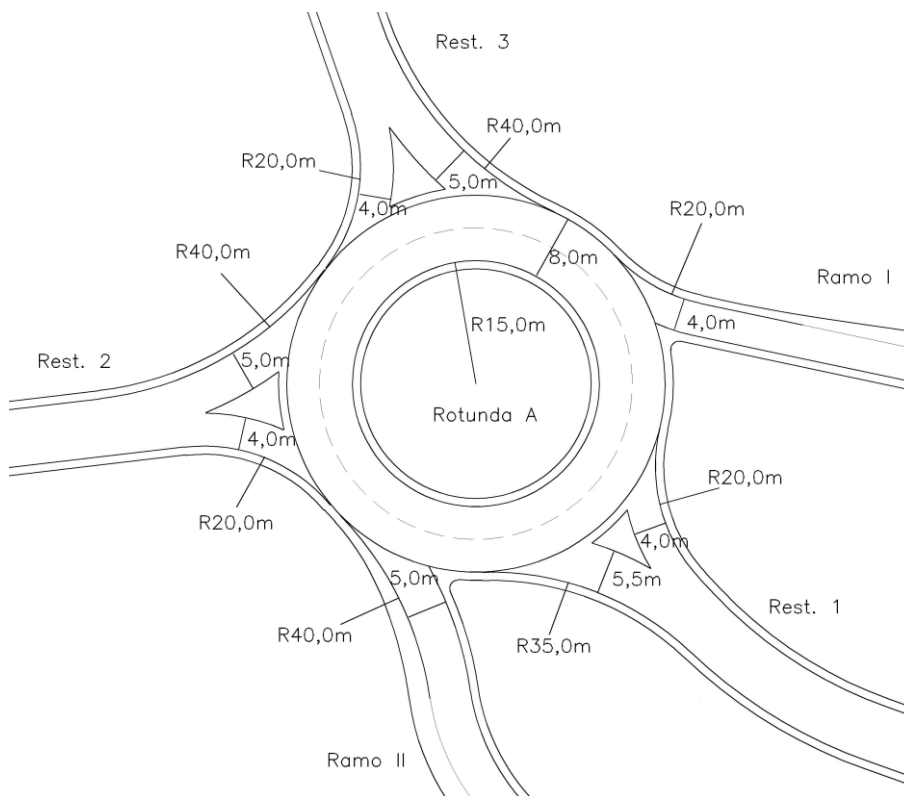


Fig. 11 – Dimensões da rotunda A

3.2.3 ROTUNDA B

A rotunda B está situada a este da E.P. Para além do, já referenciado, afastamento mínimo da E.P., existiram três critérios principais para a escolha da sua localização:

O primeiro critério está relacionado com a cota do terreno de implantação da rotunda. Não devendo a rotunda estar em escavação, procurou-se localizar a rotunda o máximo possível para noroeste, de forma a baixar ao máximo a altura do terreno de implantação. Como a rasante da E.P., no troço em estudo, está a uma altura bastante mais baixa que a altura do terreno, a descida da cota da rotunda permite minimizar o desenvolvimento dos ramos de ligação e, conseqüentemente, o custo da obra;

O segundo critério foi a existência de uma habitação – figura 12 – que impediu a rotunda de se situar mais a norte;

Por fim, o último critério, menos relevante, foi a tentativa de não desalinhar em exagero a rotunda com o restabelecimento 1, de forma a criar menos complicações na concepção da obra de arte.

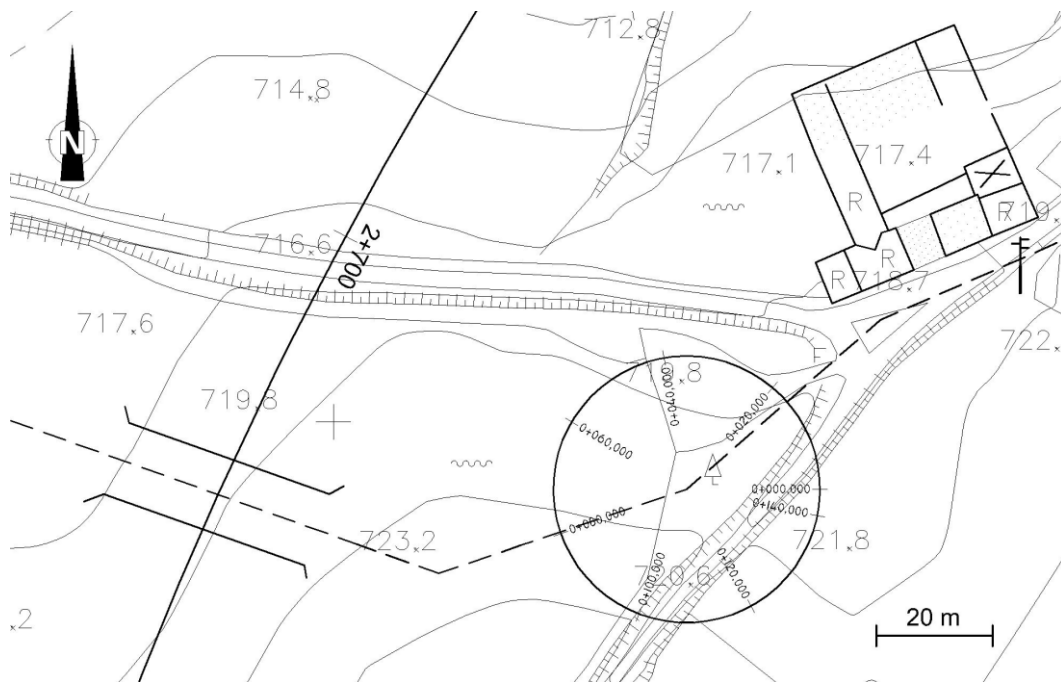


Fig. 12 – Directriz da rotunda B

Pelo mesmo método utilizado na rotunda A, utilizando igualmente a equação 1, foram calculadas as coordenadas do eixo na rotunda B – quadro 4.

Quadro 4 – Coordenadas do eixo da rotunda B

Ponto	[m]	M	P
I	0+000,00		
F		93883,906	199388,355
CR		93860,906	199388,355

Legenda: I - Início
 F – Fim
 CR – Centro da rotunda

Tal como foi feito no caso da rotunda A, procurou-se traçar um perfil longitudinal – figura 13 – da rotunda B que evitasse situações desfavoráveis de escavação e que tentasse, sem ultrapassar o limite da inclinação imposto pelas normas, evitar grandes movimentos de terra. Nota de referência ainda, para o facto do perfil longitudinal da rotunda na zona de ligação com o restabelecimento 1 estar a uma cota mais alta, o que também facilita o cumprimento do “gabarit” mínimo entre a E.P e a O.A.

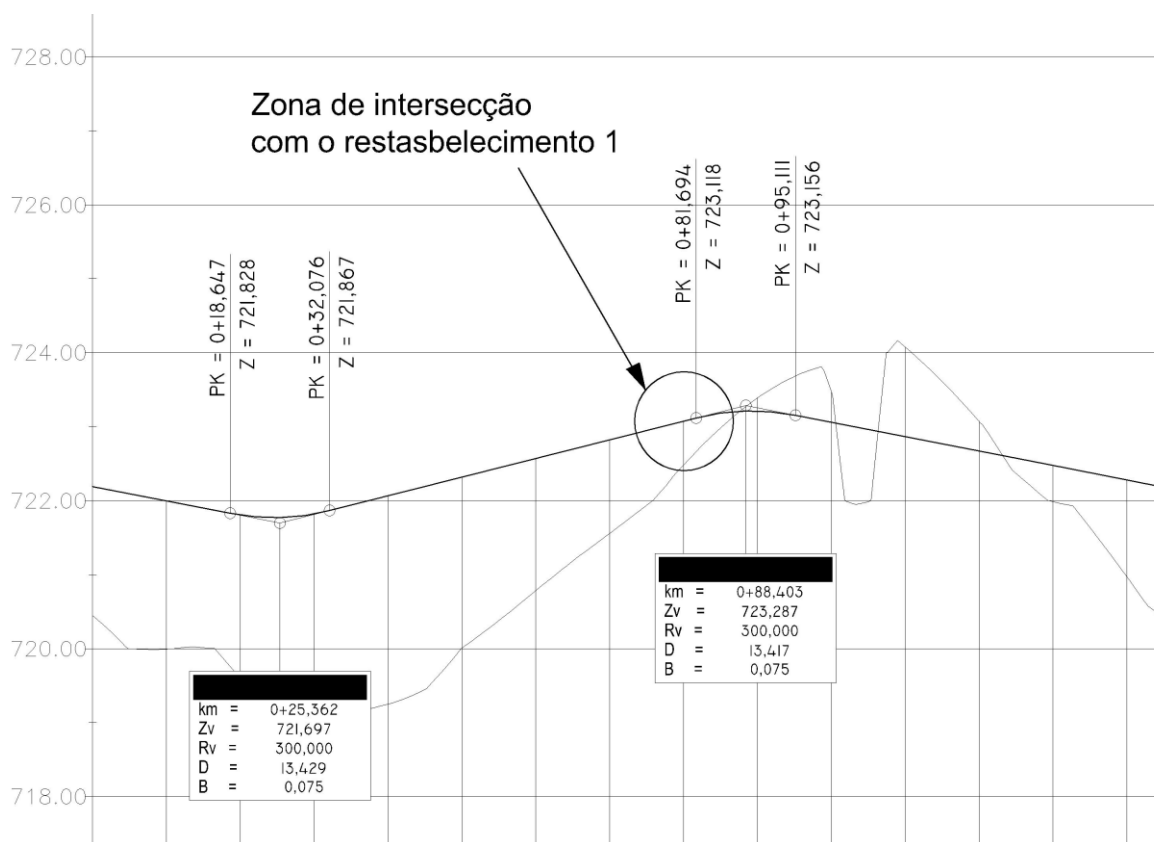


Fig. 13 – Perfil longitudinal da rotunda B

Quadro 5 – Cotas e características definidoras da rasante da rotunda B

[m]	Cota [m]	Elementos	Características
0+000,000	722,193		i -1,95 %
		Trainel	i -1,95 %
			D 14,171 m
0+014,171	721,916		R -500,000 m
		Concordância	D 22,381 m
0+036,552	721,979		
		Trainel	D 40,669 m
0+077,222	723,005		
		Concordância	D 22,361 m
0+099,583	723,069		
		Trainel	D 44,930 m
0+144,513	722,193		

No caso da rotunda B, apesar do cumprimento das normas, houve algumas dificuldades em utilizar os raios de entrada e saída aconselhados. Este problema deve-se ao facto de existir um elevado número de vias ligadas à rotunda, e, com a agravante do condicionamento do espaço, a proximidade entre algumas delas ser inevitavelmente grande.

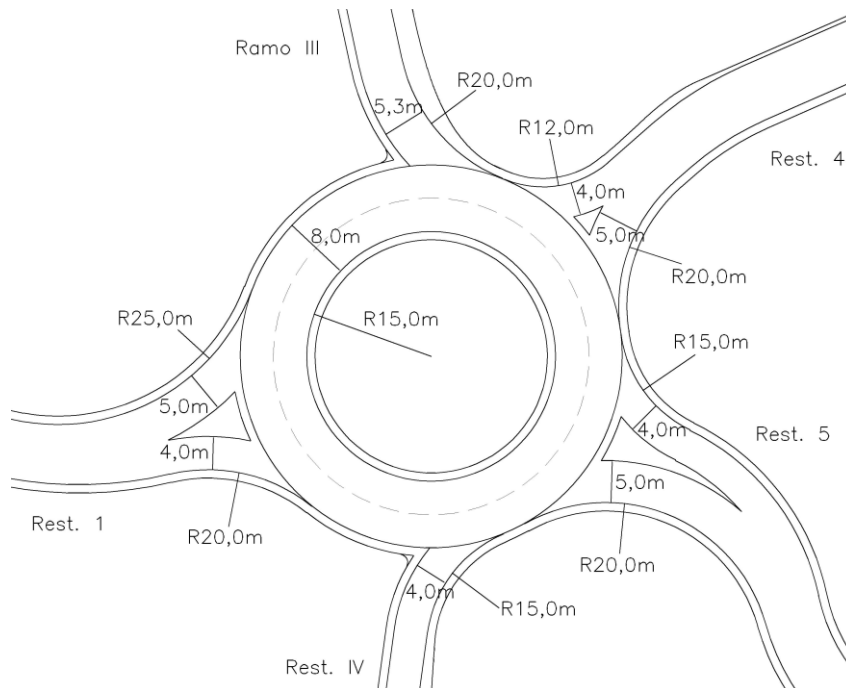


Fig. 14 – Dimensões da rotunda B

3.3 RESTABELECIMENTOS

3.3.1 INTRODUÇÃO

Nos projectos de nós rodoviários, é quase sempre necessária a realização de restabelecimentos. Estes têm a função de garantir o acesso rodoviário ao nó e a continuidade da rede já existentes, devendo, sempre que possível, adoptar uma geometria simples e funcional, que cumpra todas as normas de segurança e conforto.

Note-se ainda que o nó secciona frequentemente os caminhos existentes que deveremos restabelecer e que, muitas outras vezes a degradação dos caminhos implica a sua beneficiação através dos restabelecimentos.

Neste projecto atribuiu-se aos restabelecimentos a velocidade base de **40km/h**, e optou-se por isso pela utilização somente de rectas e curvas circulares na definição do traçado.

Cada restabelecimento tem duas vias de circulação. Cada uma delas tem a largura de 3,5m, e uma berma com largura de 1m. A inclinação transversal é de -2,5% em cada uma das vias e é constante em todos os restabelecimentos. Tratando-se de estradas de velocidade base muito reduzida, não se justificou a utilização de sobrelevações. A única excepção acontece no ponto de intersecção dos restabelecimentos com as rotundas, onde a inclinação transversal dos restabelecimentos toma o valor da inclinação longitudinal da rotunda. O estudo da ligação entre os restabelecimentos e as rotundas encontra-se no anexo A2.

O eixo de cada restabelecimento é concordante com a rasante das rotundas nos pontos em que se intersectam. Para isso, a inclinação longitudinal dos eixos dos restabelecimentos nesses pontos coincidem com a sobrelevações das rotundas. Todas as concordâncias entre traínas garantem um raio mínimo de 400m, excepto nas zonas de ligação destes com as rotundas, onde a velocidade é obrigatoriamente menor, e por isso o raio mínimo é inferior. Neste trabalho, este raio não passa o limite inferior de 150 m.

3.3.2 RESTABELECIMENTO 1

Intitulou-se como restabelecimento 1, o troço que, tal como já foi referido na subcapítulo 3.1.2, passa sobre a E.P. com recurso a uma O.A. e estabelece a ligação entre a rotunda A e a rotunda B.

Na figura 15 está representado o desenho, em planta, do restabelecimento 1. Na mesma figura está também assinalado o ponto crítico que corresponde à menor diferença de cotas entre a rasante da E.P. e a O.A. A localização deste ponto teve em conta a inclinação e a sobrelevação da E.P. e serviu de referência para o traçado do perfil longitudinal do restabelecimento – figura 16.

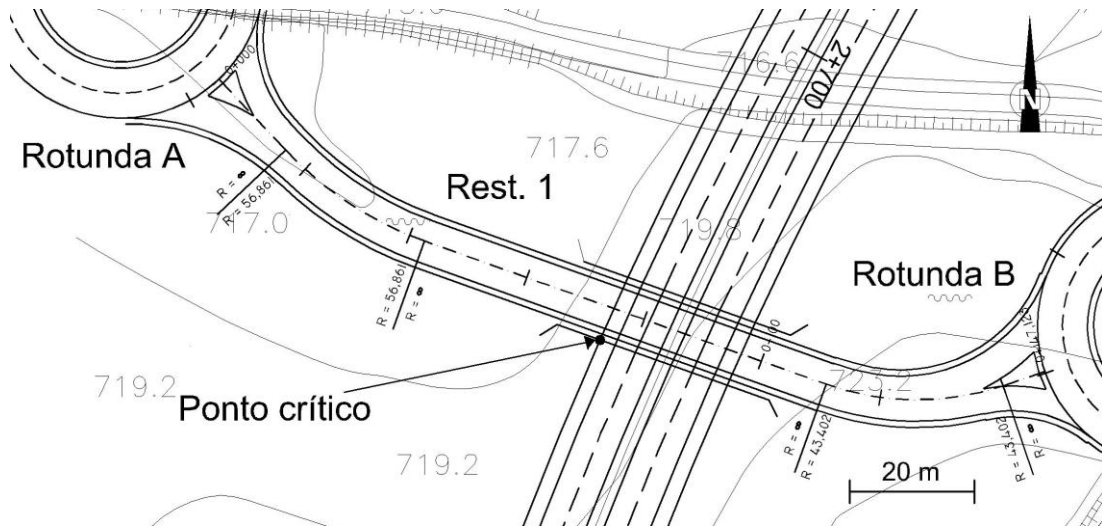


Fig. 15 – Planta do restabelecimento 1

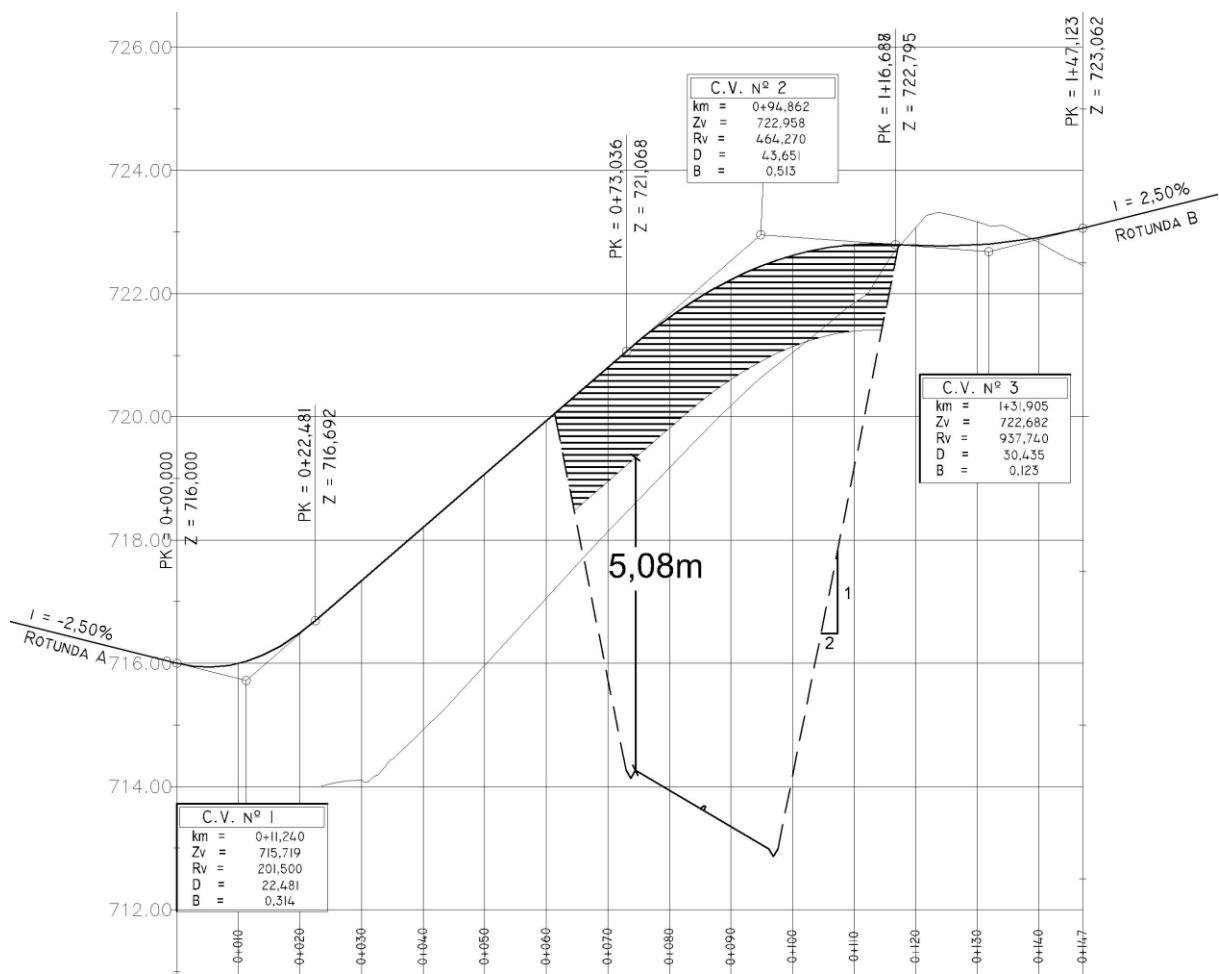


Fig. 16 – Perfil longitudinal do restabelecimento 1

Quadro 6 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 1

[m]	Cota [m]	Elementos	Características		
0+000,000	716,000		i	-2,50	%
		Concordância	R	-201,500	m
			D	22,481	m
0+022,481	716,692		i	8,66	%
		Trainel	D	50,555	m
0+073,036	721,068		R	464,270	m
		Concordância	D	43,651	m
0+116,668	722,795		R	-937,740	m
		Concordância	D	30,435	m
0+147,123	723,062		i	2,50	%

Como se pode verificar com o auxílio da figura 16, a ligação entre as rotundas obriga a que o restabelecimento intersecte a estrada principal numa zona em que esta se encontra em escavação, com uma profundidade de cerca de 6 metros. Este facto justifica a inevitável passagem do restabelecimento 1 **sobre** a estrada principal. Na mesma figura, verifica-se o cumprimento do “gabarit” mínimo legal de 5 no ponto crítico, considerando a espessura da laje da O.A. mais pavimento (camada de desgaste) igual a 1,4m.

Uma das principais preocupações, no traçado deste restabelecimento, foi fazer com que ele intersectasse a E.P., o mais na perpendicular possível, de maneira a reduzir ao máximo o vão da O.A., baixando assim, os custos da sua construção.

Pode-se ainda constatar, na figura 16, que os taludes de escavação da E.P., com inclinação de ½, mantêm uma distancia suficiente das duas rotundas permitindo a construção das mesmas.

Por fim, estão representadas no quadro 7, as coordenadas do eixo do restabelecimento, resultado do estudo efectuado anteriormente.

Quadro 7 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 1

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93706,398	199427,968	
Alinhamento recto				
TC	0+015,63	93717,112	199416,581	
CCC		93758,524	199455,544	Curva circular
CT	0+042,55	93739,427	199401,986	
Alinhamento recto				
TC	0+111,05	93803,944	199378,982	
CCC		93818,521	199419,862	Curva circular
CT	0+140,03	93832,392	199378,737	
Alinhamento recto				
F	0+147,12	93839,113	199381,004	

Legenda: I - Início

TC – Alinhamento recto - curva circular

CCC – Centro curva circular

CT – Curva circular - alinhamento recto

F – Fim

3.3.3 RESTABELECIMENTO 2

Este restabelecimento pretende substituir uma estrada secundária existente a oeste da E.P., seguindo aproximadamente o mesmo eixo mas, adoptando faixas e bermas mais largas. O seu traçado foi só definido até ao 0+120,00 por não se considerar relevante para o projecto o estudo da sua continuidade. Salienta-se apenas, que este restabelecimento tem como função, o contributo para a ligação entre a rede local de estradas e o nó rodoviário, que por sua vez, permite o acesso à E.P. Na figura 17 está representado o desenho, em planta, do restabelecimento 2. As coordenadas necessárias para o definir estão apresentadas no quadro 8.

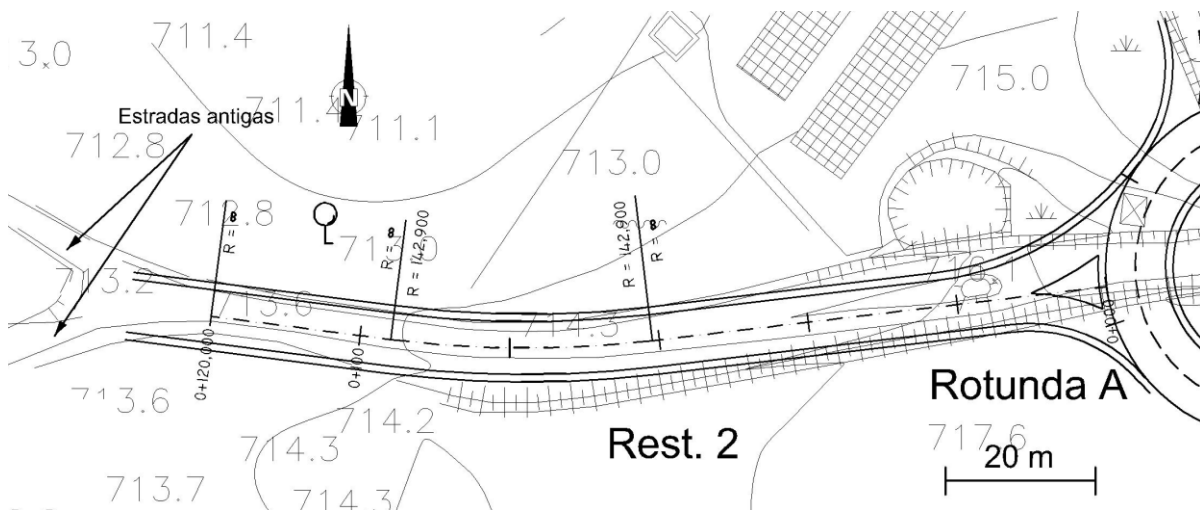


Fig. 17 – Planta do restabelecimento 2

Quadro 8 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 2

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93667,796	199442,023	
Alinhamento recto				
TC	0+060,93	93607,288	199434,881	
CCC		93590,537	199576,796	Curva circular
CT	0+095,91	93572,399	199435,052	
Alinhamento recto				
F	0+120,00	93537,643	199439,499	

Legenda: I - Início

TC – Alinhamento recto - curva circular

CCC – Centro curva circular

CT – Curva circular - alinhamento recto

F – Fim

Na figura 18, apresenta-se o perfil longitudinal do restabelecimento, concordante com a rasante da rotunda no início, e à mesma cota do terreno no fim do traçado.

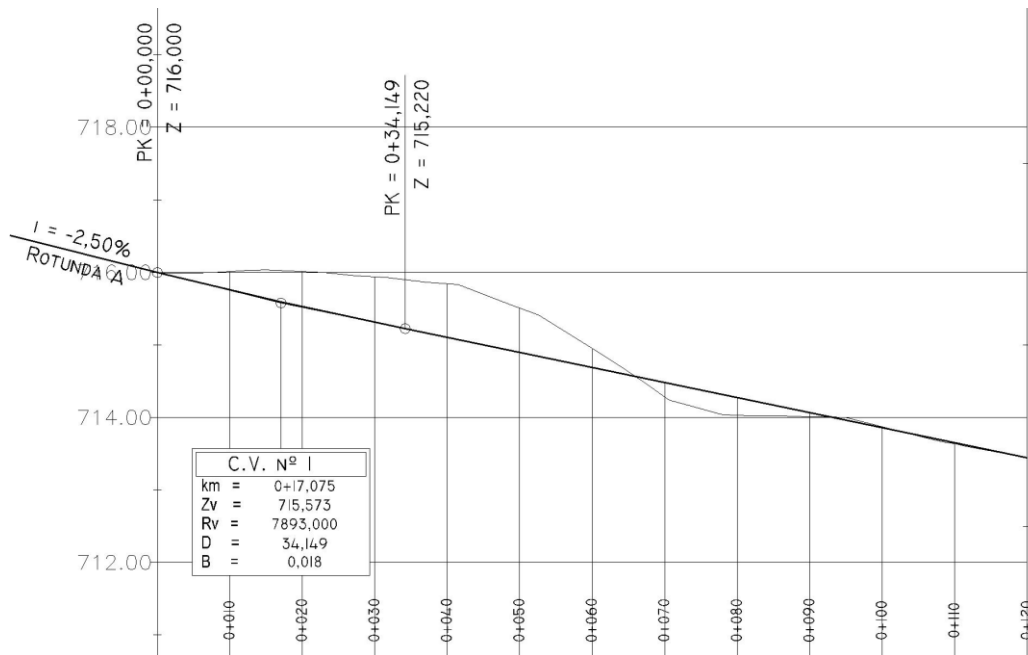


Fig. 18 – Perfil longitudinal do restabelecimento 2

Quadro 9 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 2

[m]	Cota [m]	Elementos	Características
0+000,000	716,000		i -2,50 %
		Concordância	R -7893,000 m
0+034,149	715,220		D 34,149 m
		Trainel	i -2,07 %
0+120,000	713,445		D 85,851 m
			i -2,07 %

3.3.4 RESTABELECIMENTO 3

O restabelecimento 3, tal como o restabelecimento 2, está ligado à rotunda A e vai substituir uma outra estrada secundária, também localizada a oeste da E.P. O seu eixo é definido, neste projecto, apenas até ao quilometro 0+100, por um alinhamento recto semelhante ao eixo da estrada antiga. Na figura 19, está representado o desenho, em planta, do restabelecimento 3.

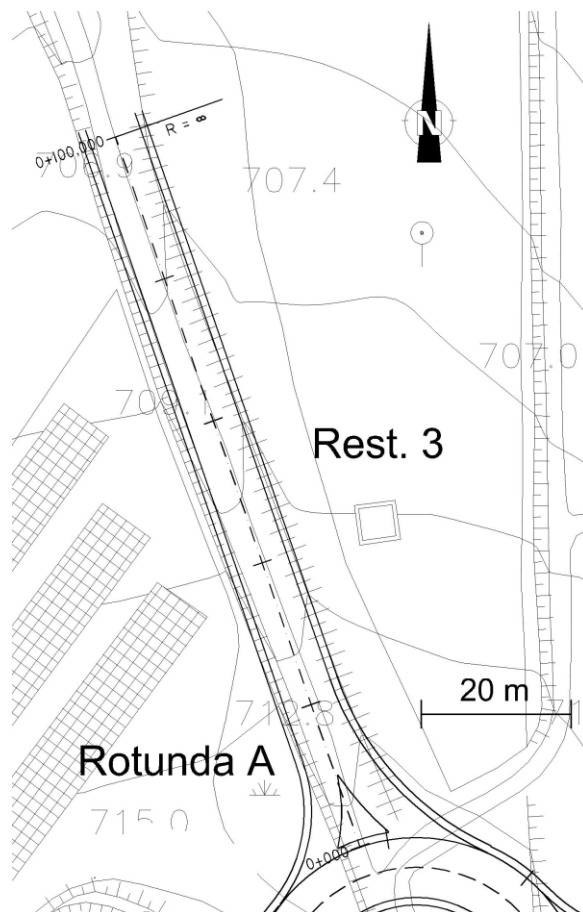


Fig. 19 – Planta do restabelecimento 3

Quadro 10 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 3

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93683,128	199466,459	Alinhamento recto
F	0+100,00	93650,477	199560,978	

Legenda: I - Início

F – Fim

Por fim, na figura 20, encontra-se representado o perfil longitudinal do restabelecimento, concordante com a rasante da rotunda e da estrada secundária no início e no fim do traçado respectivamente.

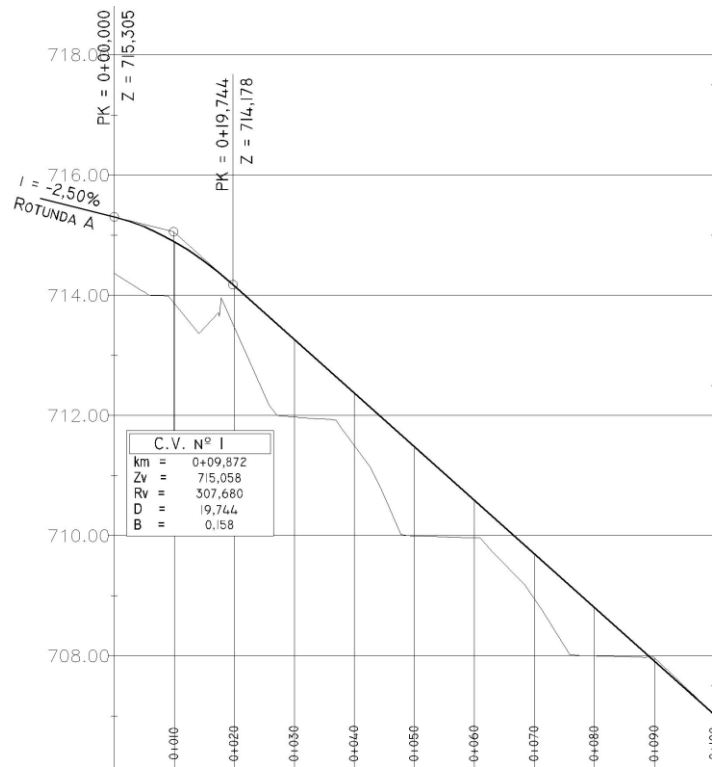


Fig. 20 – Perfil longitudinal do restabelecimento 3

Quadro 11 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 3

[m]	Cota [m]	Elementos	Características
0+000,000	715,305		i -2,50 %
		Concordância	R 307,680 m
0+019,744	714,178		D 19,744 m
		Trainel	i -8,92 %
0+100,000	707,021		D 80,256 m
			i -8,92 %

3.3.5 RESTABELECIMENTO 4

Este restabelecimento, situado a este da E.P., está ligado à rotunda B e vai substituir uma estrada estreita e antiga que dá acesso a uma zona habitacional. Para além de um eixo diferente da estrada antiga, o restabelecimento vai adoptar vias mais largas, obrigando assim a um certo cuidado no seu traçado, de forma a não invadir áreas ocupadas por lotes habitacionais e sem alterar a localização dos postes de alta tensão e de iluminação pública.

Neste projecto, o restabelecimento foi geometrizado apenas até ao quilómetro 0+160. O seu desenho em planta está representado na figura 21, onde estão também realçados, com linha mais escura, todos os obstáculos condicionantes.

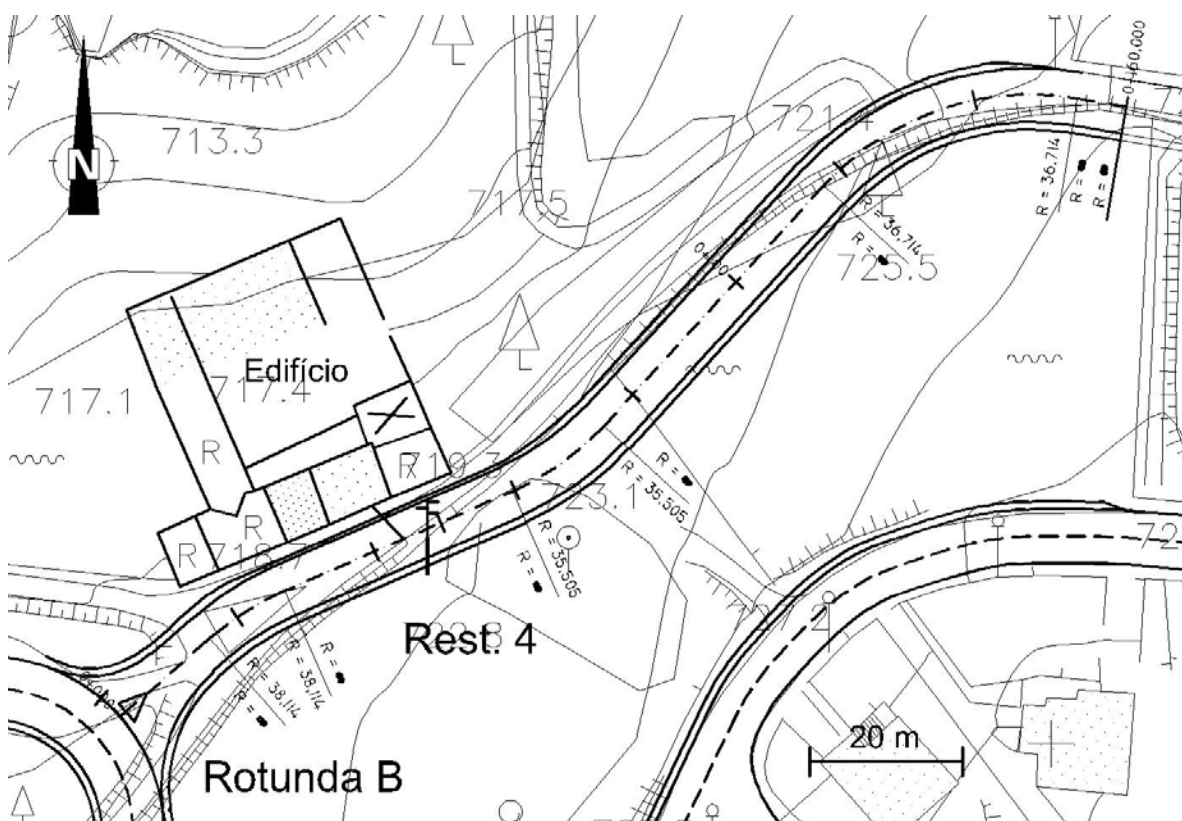


Fig. 21 – Planta do restabelecimento 4

Quadro 12 – Coordenadas do eixo de restabelecimento 4

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93878,227	199403,488	
Alinhamento recto				
TC	0+015,53	93889,922	199413,704	
CCC		93914,998	199385,001	Curva circular
CT	0+027,24	93899,777	199419,944	
Alinhamento recto				
TC	0+059,69	93929,528	199432,904	
CCC		93915,348	199465,454	Curva circular
CT	0+074,50	93941,496	199441,436	
Alinhamento recto				
TC	0+116,99	93970,242	199472,731	
CCC		93997,281	199447,895	Curva circular
CT	0+153,56	94003,430	199484,090	
Alinhamento recto				
F	0+160,00	94009,778	199483,012	

Legenda: I - Início

TC – Alinhamento recto - curva circular

CCC – Centro curva circular

CT – Curva circular - alinhamento recto

F – Fim

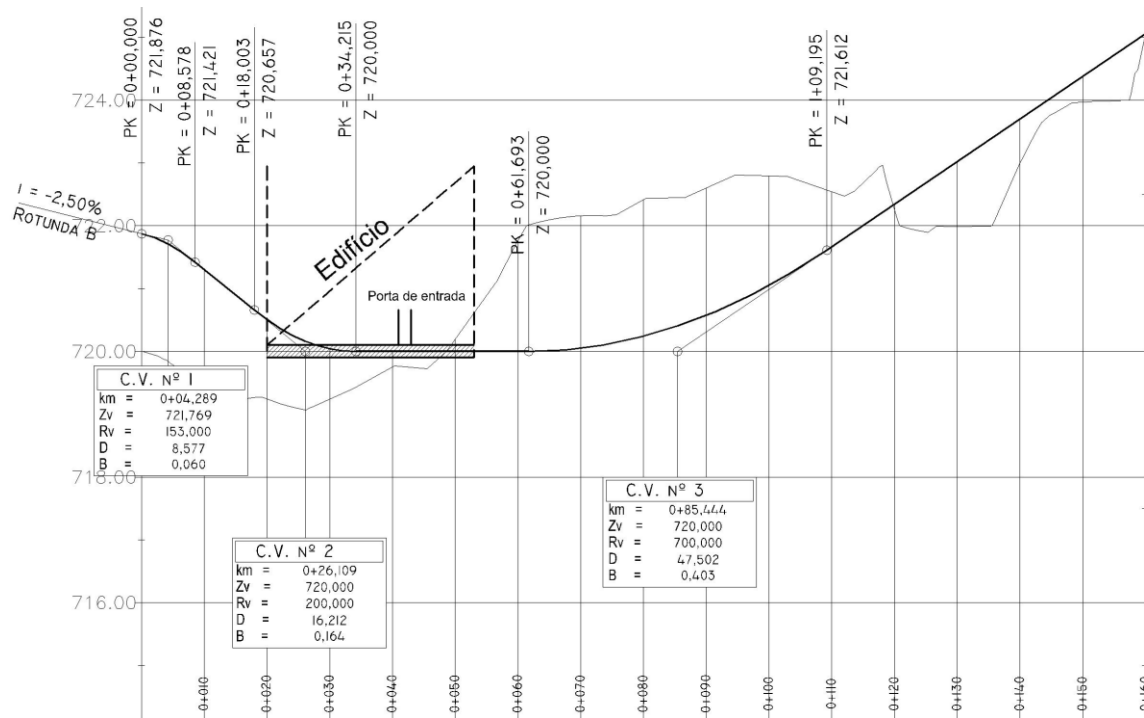


Fig. 22 – Perfil longitudinal do restabelecimento 4

Quadro 13 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 4

[m]	Cota [m]	Elementos	Características
0+000,000	721,876		i -2,50 %
		Concordância	R 153,000 m
			D 8,577 m
0+008,578	721,421		i -8,11 %
		Trainel	D 35,062 m
0+018,003	720,657		R -200,000 m
		Concordância	D 16,212 m
0+034,215	720,000		i 0,00 %
		Trainel	D 27,478 m
0+061,693	720,000		R -700,000 m
		Concordância	D 47,502 m
0+109,195	721,612		i 6,79 %
		Trainel	D 50,805 m
0+160,000	725,059		i 6,79 %

Observando os valores do último quadro e a figura 22, pode-se constatar que, excepcionalmente, foi utilizada uma concordância com raio de 200m, num troço intermédio do perfil longitudinal do restabelecimento. O objectivo seria impedir que a rasante do restabelecimento atingisse cotas intoleravelmente superiores à cota da soleira do edifício. Nesta situação em particular, existiram dois motivos principais que levaram à aceitação de um raio da concordância inferior a 400m (valor inicialmente recomendado). O primeiro está relacionado com o facto de a concordância ser côncava e por isso garantir as condições de visibilidade. O segundo motivo deve-se à baixa velocidade de tráfego neste local, consequência da sua proximidade da rotunda e do carácter “mais” urbano deste restabelecimento.

3.3.6 RESTABELECIMENTO 5

Este restabelecimento, criado de raiz, situa-se a este da E.P. e faz a ligação entre uma estrada secundária e a rotunda B – figura 23. Esta estrada secundária, tal como mostra a figura, toma as características geométricas dos restabelecimentos no que toca à largura das vias e bermas. Devido ao enorme declive do terreno, na geometrização do traçado deste restabelecimento, instauraram-se duas curvas circulares de forma a aumentar o comprimento do eixo, e assim reduzir a sua inclinação longitudinal. Ainda assim, foi bastante difícil criar este restabelecimento com uma inclinação inferior a 15%.

No quadro 14 estão quantificadas as coordenadas dos pontos principais do eixo. A planta e o perfil longitudinal encontram-se representados na figura 23 e figura 24, respectivamente. É de notar que, o eixo do restabelecimento intersecta perpendicularmente a berma da estrada secundária, e é concordante com a rasante dessa mesma estrada. Os raios de viragem no cruzamento são ambos de 8m.

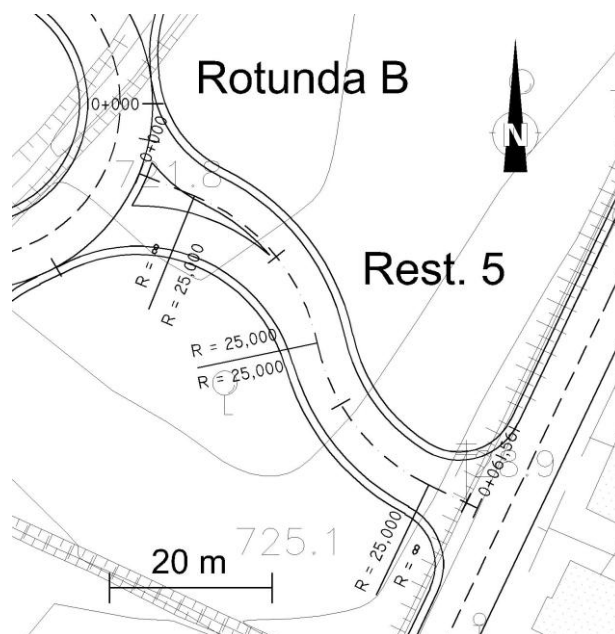


Fig. 23 – Planta do restabelecimento 5

Quadro 14 – Coordenadas do eixo do restabelecimento 5

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93882,239	199379,758	
Alinhamento recto				
TC	0+007,30	93889,012	199377,028	
CCC		93879,667	199353,840	Curva circular
CC	0+031,88	93904,146	199358,918	
CCC		93928,625	199363,995	Curva circular
CT	0+054,92	93917,869	199341,427	
Alinhamento recto				
F	0+061,56	93923,864	199338,570	

Legenda: I - Início

TC – Alinhamento recto - curva circular

CCC – Centro curva circular

CC – Curva circular - curva circular

CT – Curva circular - alinhamento recto

F – Fim

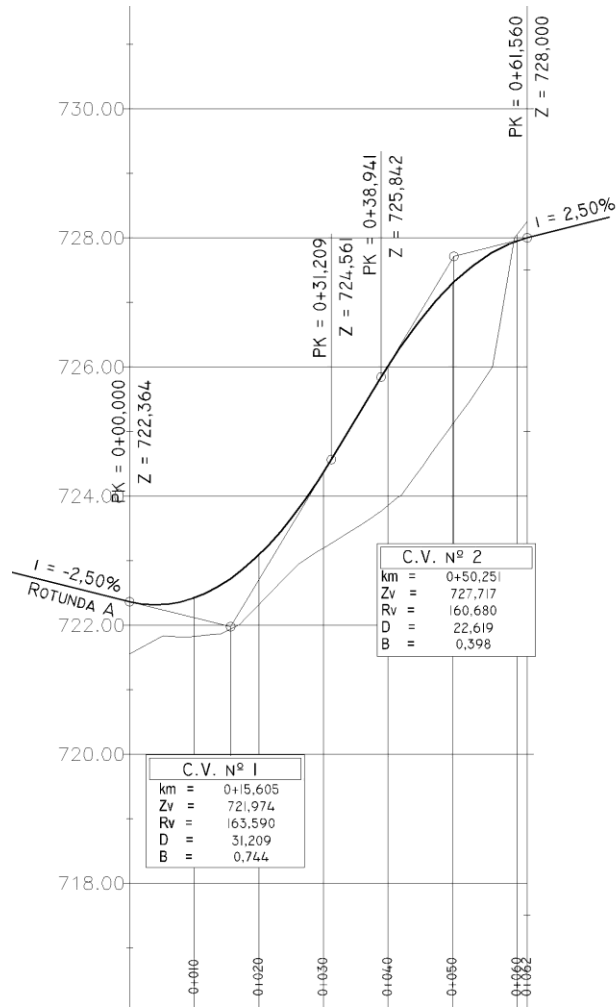


Fig. 24 – Perfil longitudinal do restabelecimento 5

Quadro 15 – Cotas e características definidoras da rasante do restabelecimento 5

[m]	Cota [m]	Elementos	Características
0+000,000	722,364	Concordância	i -2,50 %
			R -163,590 m
0+031,209	724,561		D 31,209 m
		Trainel	i 16,58 %
			D 7,732 m
0+038,941	725,842	Concordância	R 160,619 m
			D 22,619 m
0+061,560	728,000		i 2,50 %

3.4 RAMOS DE LIGAÇÃO

3.4.1 PREÂMBULO

Os ramos de ligação são elementos fundamentais na constituição de um nó, que permitem a mudança dos veículos da estrada principal para uma estrada secundária, e vice-versa. A mudança de uma estrada para outra obriga ao condutor cuidados muito acentuados da selecção de velocidade do veículo. Esta é uma das razões, pelas quais a geometria dos ramos deve ser cuidadosamente executada, de forma a garantir todas as condições de segurança, e, se possível, abranger também algumas condições de conforto. Outra razão importante é o facto, de estes elementos adoptarem muitas vezes curvas com raios muito pequenos, que agravam os riscos de derrapagem. Por estes motivos, a ex-JAE estabelece várias normas, por vezes bastante exigentes, que condicionam a geometrização dos ramos de ligação. Uma dessas normas impõe limites mínimos à extensão das curvas de transição, variando estes limites com a velocidade de projecto do ramo e o respectivo raio mínimo associado – quadro 16. O valor da extensão está, por sua vez, directamente relacionado com o parâmetro da clotóide – equação 2 – que é utilizada para definir a curva de transição.

Quadro 16 – Extensão mínima das curvas de transição

Velocidade de projecto – V_{projecto} [Km/h]	25	30	35	40	45	50	55	60
Raio mínimo – R [m]	15	25	35	45	60	75	90	120
Extensão mínima da transição – L [m]	15	21	24	28	32	36	40	45
Parâmetro da clotóide – A [m]	15	22,5	28	36	45	52	60	75

$$L = \frac{A^2}{R} \quad (2)$$

No nó em diamante, o número de ramos de ligação são quatro. Cada um deles foi dimensionado para uma velocidade de projecto de **40km/h**, ou seja, com um raio mínimo de **45m** (conforme quadro 16). No entanto, nas curvas mais próximas das rotundas, onde a velocidade de circulação é obrigatoriamente mais baixa, puderam adoptar-se raios inferiores a 45m, sem que estes fossem menores que o raio da rotunda, de 25m. A única excepção à regra acontece no ramo IV (ver subcapítulo 3.4.5). A grande vantagem da utilização de raios pequenos está relacionada, sobretudo, com a redução do espaço ocupado pelo nó e com o aumento da extensão dos ramos que contribui para a diminuição das inclinações máximas. A redução dos raios na aproximação à rotunda é aconselhável para reduzir decréscimos na velocidade. No entanto, quanto mais pequenos são o raio mínimo e a velocidade de projecto, maior terá de ser a extensão das vias de aceleração e de abrandamento (ver subcapítulo 3.5). Neste projecto em concreto, optou-se por uma velocidade de projecto dos ramos mais baixa, pelo facto de, para além das vantagens mencionadas anteriormente, se considerar que a estrada principal tem pouca intensidade de tráfego e que, portanto, não necessita de vias de aceleração exageradamente extensas.

Outro aspecto bastante importante na geometrização dos ramos de ligação foi a inclinação longitudinal. Apesar da ex-JAE não especificar o limite máximo desta grandeza, respeitaram-se os valores recomendados apresentados no quadro 59 do anexo A6. Por vezes, em terrenos muito

acidentados, como é o caso, com o desnível elevado entre as rotundas e a E.P., este factor torna-se bastante condicionante na escolha do trajado dos ramos, pois obriga-os a ter uma extensão mínima que faça cumprir a inclinação máxima recomendada.

Relativamente ao perfil longitudinal dos ramos de ligação, todas as concordâncias entre traineis respeitam, tal como nos restabelecimentos, um raio mínimo de 400m, com excepção das zonas de ligação dos traineis com as rotundas, onde o raio mínimo estabelecido é 150m. O raio de 400m (R) será o mínimo a garantir a distância de visibilidade de paragem (DVP) adequada para a velocidade de 40Km/h (conforme quadro 55 do anexo A3), respeitando a seguinte equação:

$$R \geq \frac{DVP^2}{4} \quad (3)$$

A rasante de cada trainel é concordante com as rasantes da E.P. e das rotundas A ou B, conforme o caso. O estudo detalhado da ligação dos traineis com as rotundas encontra-se no anexo A1.

A nível planimétrico, todos os ramos de ligação são unidireccionais, contendo apenas uma via, com largura normal de 4m (excepto em situações de exigência de sobrelargura), e duas bermas, uma esquerda e outra direita, com larguras de 1m e 2,5m respectivamente. Conforme o estabelecido pelas normas (quadro 53 do anexo A3), em todas as curvas circulares com raio de 45m, será adoptada uma sobrelargura de 1,25m a adicionar aos 4m.

Uma questão técnica, bastante importante, que foi convenientemente abordada para a geometrização dos ramos de ligação, foi a diferença máxima, permitida pelas normas (quadro 54 do anexo A3), entre as inclinações transversais da estrada principal e do ramo, na zona pavimentada em comum. A acrescentar a este problema, existe ainda uma segunda norma, que impõe um limite máximo à variação da sobreelevação do ramo por cada 20 metros de extensão (quadro 52 do anexo A3). Todos estes condicionamentos, por vezes, dificultam de uma forma significativa a execução do perfil longitudinal dos ramos, e considera-se, por isso, talvez um dos problemas mais delicados na execução de um projecto deste tipo.

3.4.2 RAMO I

Classificou-se como ramo I, o ramo de saída da estrada principal no sentido norte-sul. Para além de curtos alinhamentos rectos, a sua directriz é composta por duas curvas, tal como mostra a figura 25.

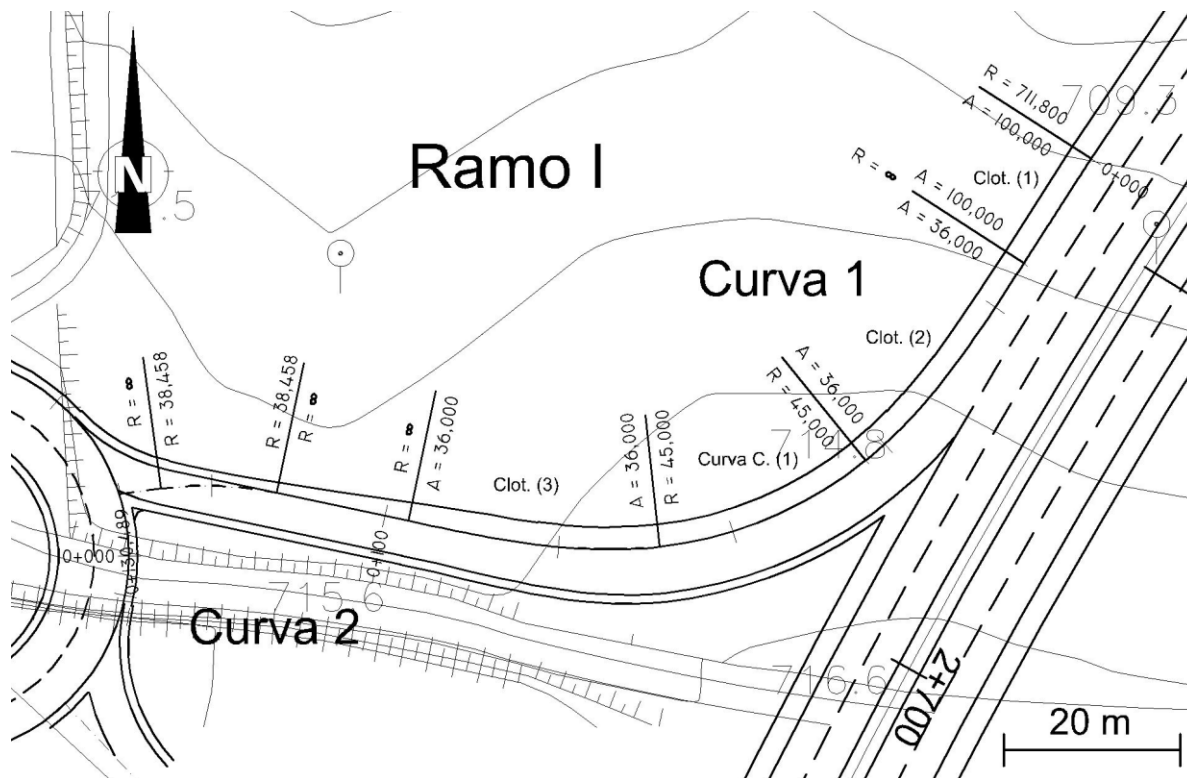


Fig. 25 – Planta do ramo I

A curva 1, que afasta o ramo da E.P., é uma curva que, em ligação contínua com a E.P., forma a chamada “curva em S”. Como tal, criaram-se duas clotóides, clot. (1) e clot. (2), com curvaturas opostas, concordantes num ponto de raio infinito, que permitem a transição mais segura e cómoda, da curva à esquerda da E.P. para a primeira curva à direita do ramo I.

Relativamente à curva 2, a sua elaboração serviu apenas para a intersecção do eixo do ramo, na perpendicular, com o eixo da rotunda. Na parte não coincidente com a linha da berma, o eixo está assinalado a traço-ponto.

Nos ramos de saída da E.P. a quilometragem começa no fim da via de abrandamento e acaba no ponto de ligação com a rotunda A. Nos ramos de entrada na E.P. a situação é inversa.

No quadro 17 estão definidas as coordenadas da directriz do ramo I:

Quadro 17 – Coordenadas da directriz do ramo I

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93822,722	199489,672	
Clotóide (1)				
SS	0+014,05	93815,103	199477,869	
Clotóide (2)				
SC	0+042,85	93797,155	199455,514	
CCC		93768,828	199490,480	Curva circular (1)
CS	0+068,50	93773,810	199445,756	
Clotóide (3)				
ST	0+097,30	93745,292	199448,689	
Alinhamento recto				
TC	0+112,56	93730,361	199451,857	
CCC		93722,380	199414,236	Curva circular
CT	0+125,76	93717,231	199452,348	
Alinhamento recto				
F	0+130,49	93712,548	199451,715	

Legenda: I - Início

SS – Osculação clotóide - clotóide

SC – Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS – Osculação curva circular - clotóide

ST – Osculação alinhamento recto - clotóide

TC – Alinhamento recto - curva circular

CT – Curva circular - alinhamento recto

F – Fim

Nos quadros seguintes, estão quantificadas as grandezas fundamentais para a geometrização, em planta, dos elementos que compõem a “curva em S”. A construção geométrica encontra-se esquematizada na figura 26.

Quadro 18 – Estudo da clotóide (1) do ramo I

Rg [m]	A [m]	L [m]	ΔRg [m]	Xmg [m]	Tp [rad]
711,800	100	14,049	0,012	7,024	0,00987

Quadro 19 – Estudo das clotóides (2) e (3) do ramo I

Rp [m]	A [m]	L [m]	ΔRp [m]	Xmp [m]	Tg [rad]
45,000	36	28,800	0,765	14,351	0,32000

Quadro 20 – Estudo geral da “curva em S” do ramo I

ΔX [m]	ΔY [m]	D [m]	θ (rad)
21,375	757,577	757,878	0,02821

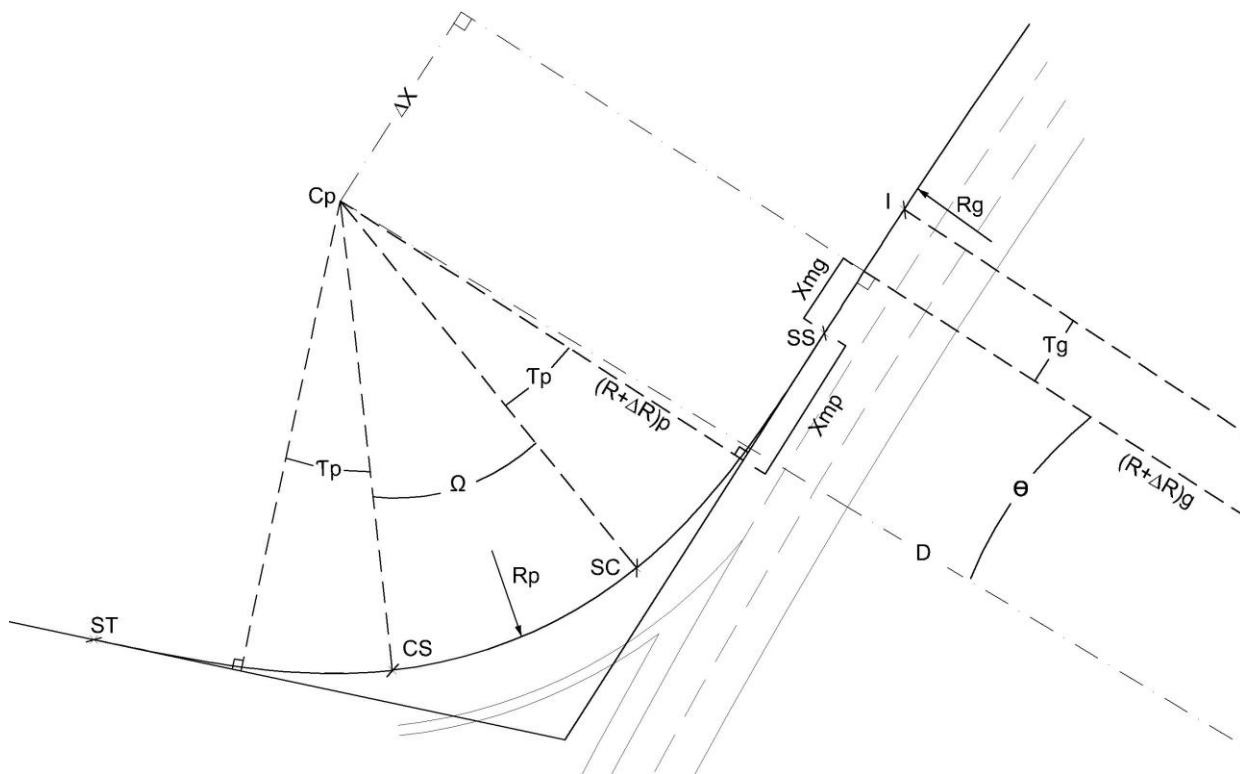


Fig. 26 – Construção geométrica da “curva em S” do ramo I

$$\Delta X = Xmp - Xmg \quad (4)$$

$$\Delta Y = (Rg + \Delta Rg) - (Rp + \Delta Rp) \quad (5)$$

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (6)$$

$$\theta = \text{arctg} \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (7)$$

Na figura 26 e nas fórmulas 4, 5, 6 e 7 intervêm parâmetros das clotóides. Recorde-se aqui o seu significado:

- Xmg → Abcissa do centro da curva grande (E.P.) no sistema de eixos com origem no ponto de raio infinito da clotóide;
- Xmp → Idem, para a curva pequena (ramo do nó);
- Rg → Raio da curva circular da E.P., medida ao bordo;
- Rp → Raio da curva circular do ramo do nó;
- D → Distância a calcular entre os centros das duas curvas circulares;
- θ → Ângulo com vértice em Cg (ou Cp) e lados: recta que une os centros Cp e Cg e recta perpendicular ao alinhamento recto entre as duas clotóides de sentido contrário;
- ΔRg → Ripagem da clotóide da E.P.;
- ΔRp → Ripagem da clotóide do ramo do nó.

Após o traçado do eixo do ramo em planta, definiu-se o perfil longitudinal, representado na figura 27. No quadro 21 estão representadas as cotas e as características definidoras da rasante. Pode-se verificar que a inclinação longitudinal do ramo respeita o limite máximo de 8% recomendado para traineis em rampa (conforme o quadro 60 do anexo A6).

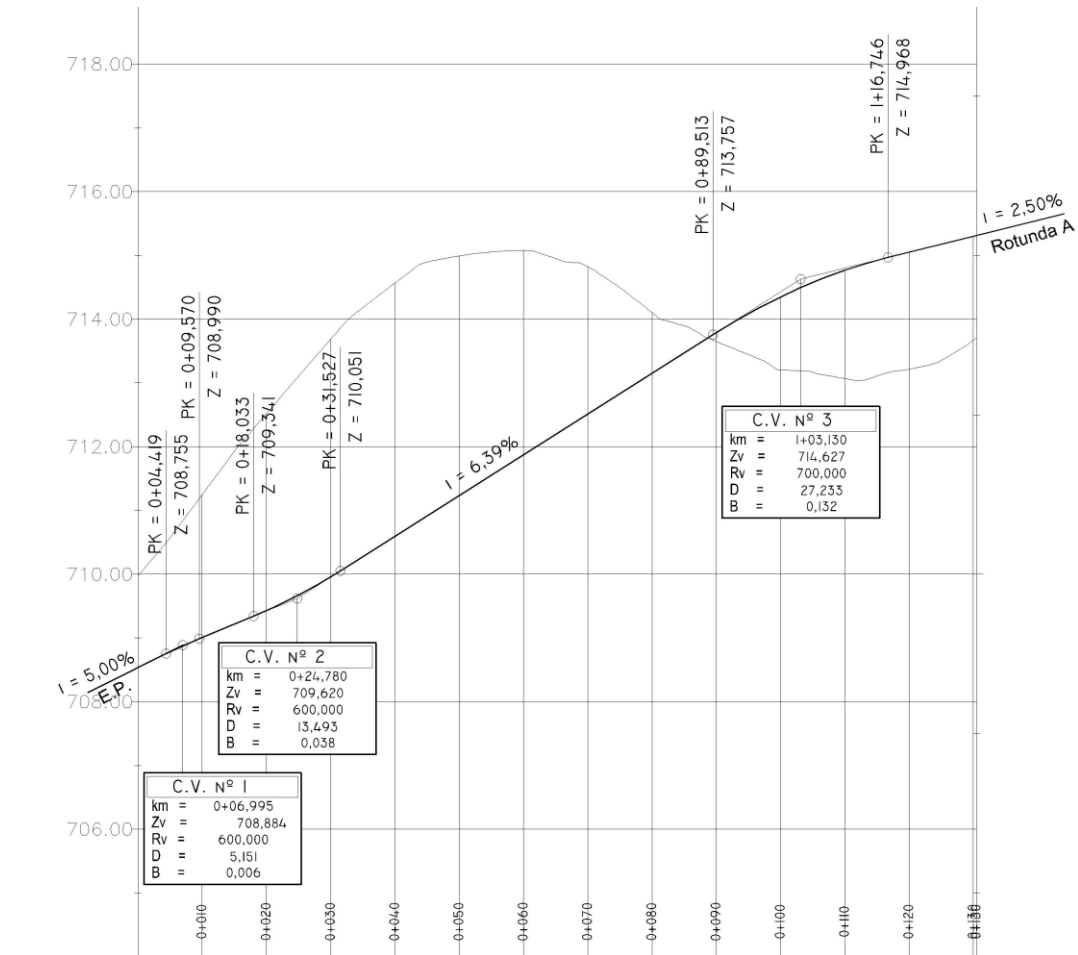


Fig. 27 – Perfil longitudinal do ramo I

Quadro 21 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo I

[m]	Cota [m]	Elementos	Características		
0+000,000	708,534		i	5,00	%
		Trainel	i	5,00	%
			D	4,419	m
0+004,419	708,755		R	600,00	m
		Concordância	D	5,151	m
0+009,570	708,990			i	4,14
		Trainel	D	8,463	m
0+018,033	709,341			R	-600,00
		Concordância	D	13,493	m
0+031,527	710,051			i	6,39
		Trainel	D	57,987	m
0+089,513	713,757			R	700,00
		Concordância	D	27,233	m
0+116,746	714,968			i	2,50
		Trainel	D	13,743	m
0+130,489	715,299			i	2,50

Na figura 28 e quadro 22 apresenta-se o estudo relativo à ligação do ramo I à E.P. Tal como foi referido no anteriormente, a diferença entre as sobrelevações das duas vias, na zona pavimentada comum, não deve ultrapassar os limites impostos pelas normas (conforme o quadro 53 do anexo A3). Para a velocidade de projecto de 40Km/h, a diferença máxima permitida é de 5% a 6%. Este limite aplica-se também para os restantes ramos de ligação. No ponto inicial do ramo, a sua inclinação transversal é coincidente com a da E.P.

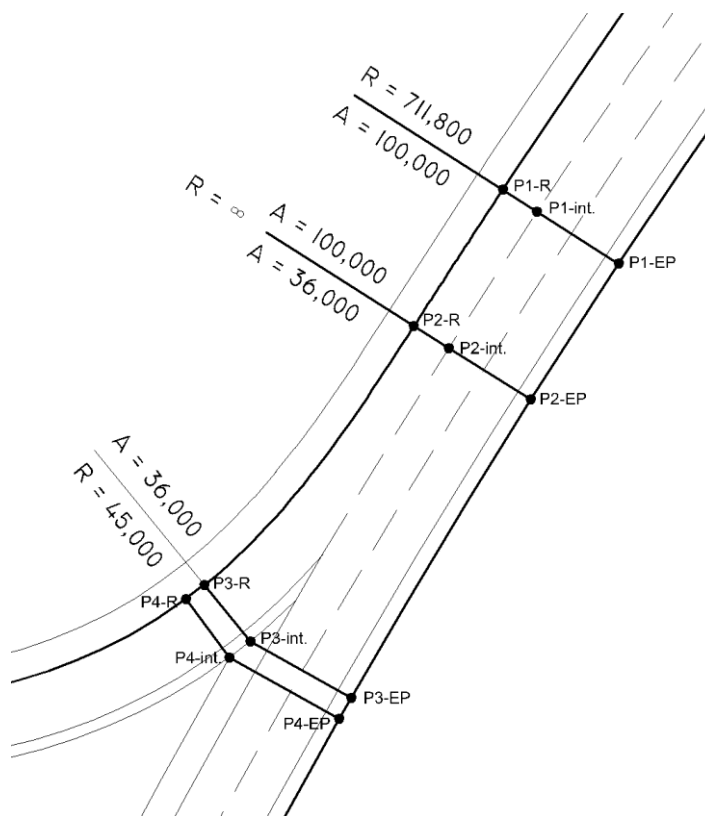


Fig. 28 – Pormenor da ligação do ramo I com a estrada principal

Quadro 22 – Estudo da intersecção do ramo I com a estrada principal

Secção	Ponto	Se [%]	Dist. [m]	Z [m]	Se(EP) + Se(R) [%]
1	P1-EP			707,884	
		5,50	8,30		
	P1-int.			708,342	0,00
		-5,50	3,50		
	P1-R			708,534	
2	P2-EP			708,578	
		5,50	8,30		
	P2-int.			709,034	1,50
		-4,00	3,55		
	P2-R			709,176	
3	P3-EP			710,080	
		5,50	9,92		
	P3-int.			710,625	3,10
		-2,40	6,25		
	P3-R			710,775	
4	P4-EP			710,184	
		5,50	10,80		
	P4-int.			710,778	3,50
		-2,00	6,25		
	P4-R			710,903	

Legenda: Dist. – Distância (em planta) entre pontos

Z – Cota do ponto

Se(EP) – Sobreelevação da E.P. na secção

Se(R) – Sobreelevação do ramo na secção

|Se(EP) + Se(R)| - Diferença entre sobreelevações

Por fim, no quadro 23, estão representadas as sobreelevações e as sobrelarguras (em curva circular) adoptadas ao longo do ramo I. Pode-se observar, através do quadro, que a variação da sobreelevação, por cada 20m de desenvolvimento do ramo, não ultrapassa o limite previsto pelas normas de 4,7% (conforme o quadro 51 do anexo A3). Esta condição é igualmente imposta para os restantes ramos de ligação.

Quadro 23 – Estudo da sobreelevação e da sobrelargura no ramo I

[m]	Trajecto	Se [%]	Δ Se/20m [%]	SI [m]
Curva à esquerda (EP)				
0+000,000		-5,50		
	Transição		2,1	
0+014,049		-4,00		-
	Transição		1,1	
0+042,849		-2,40		
			4,0	
0+044,852(*)	Curva à direita	-2,00(*)		1,25
			3,9	
0+068,496		2,66		
	Transição		0	
0+097,296		2,66		
	Alinhamento recto		0	
0+112,559		2,66		-
	Curva à esquerda		0	
0+125,763		2,66		
	Alinhamento recto		0	
0+130,489		2,66(**)		

Δ Se/20m – Variação da sobreelevação por cada 20 metros de desenvolvimento do ramo

(*) – Relativo ao ponto P4-R da figura 28

3.4.3 RAMO II

Classificou-se como ramo II, o ramo de entrada na estrada principal no sentido norte-sul. A directriz deste ramo, à semelhança do ramo I, engloba também duas curvas – figura 29. Pelos mesmos motivos, a curva 2, em continuidade com a E.P, forma uma “curva em S”. As coordenadas da directriz estão representadas no quadro 25.

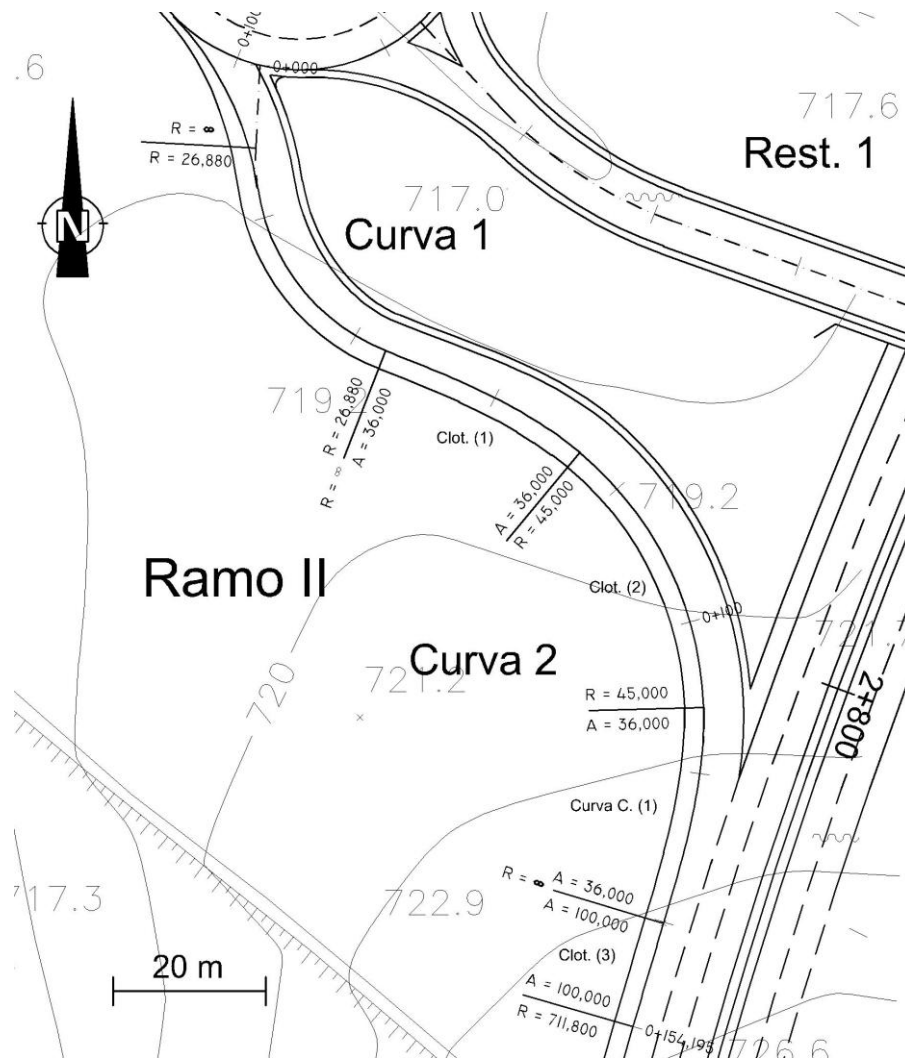


Fig. 29 – Planta do ramo II

Quadro 24 – Coordenadas da directriz do ramo II

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93685,425	199422,318	
Alinhamento recto				
TC	0+010,81	93684,844	199411,525	
CCC		93711,685	199410,080	Curva circular
CS	0+022,42	93701,862	199385,059	
Clotóide (1)				
SC	0+073,22	93727,283	199371,802	
CCC		93698,496	199337,214	Curva circular (1)
CS	0+111,35	93743,476	199338,540	
Clotóide (2)				
SS	0+140,15	93738,232	199310,355	
Clotóide (3)				
F	0+154,20	93734,252	199296,882	

Legenda: I - Início

TC – Osculação alinhamento recto - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS – Osculação curva circular - clotóide

SC – Osculação clotóide - curva circular

SS – Osculação clotóide - clotóide

F – Fim

Como se poderá concluir pela observação dos quadros seguintes, as duas “curvas em S” existentes nos ramos I e II, têm características bastante semelhantes. Neste caso, a transição é feita da curva à direita no ramo para a curva à esquerda na estrada principal.

Quadro 25 – Estudo das clotóides (1) e (2) do ramo II

R_p [m]	A [m]	L [m]	ΔR_p [m]	X_{mp} [m]	T_p [rad]
45,000	36	28,800	0,765	14,351	0,32000

Quadro 26 – Estudo da clotóide (3) do ramo II

R_g [m]	A [m]	L [m]	ΔR_g [m]	X_{mg} [m]	T_g [rad]
711,800	100	14,049	0,012	7,024	0,00987

Quadro 27 – Estudo geral da “curva em S” do ramo II

ΔX [m]	ΔY [m]	D [m]	e (rad)
21,375	757,577	757,878	0,02821

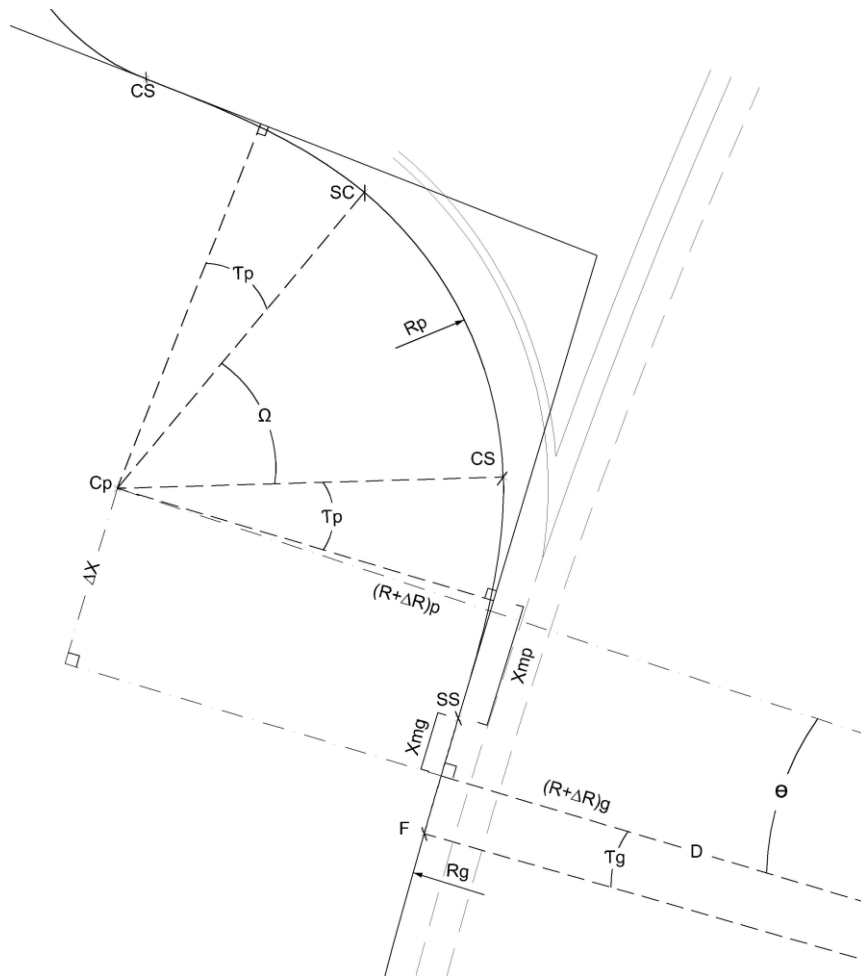


Fig. 30 – Construção geométrica da “curva em S” do ramo II

Na figura 31, está representado o perfil longitudinal do ramo II, através do qual, se pode verificar que existe um trainel com inclinação quase nula, e que praticamente todo o troço do ramo se encontra em escavação. Este facto poderá levantar alguns problemas de drenagem, que serão abordados com mais pormenor no subcapítulo 3.4.6.

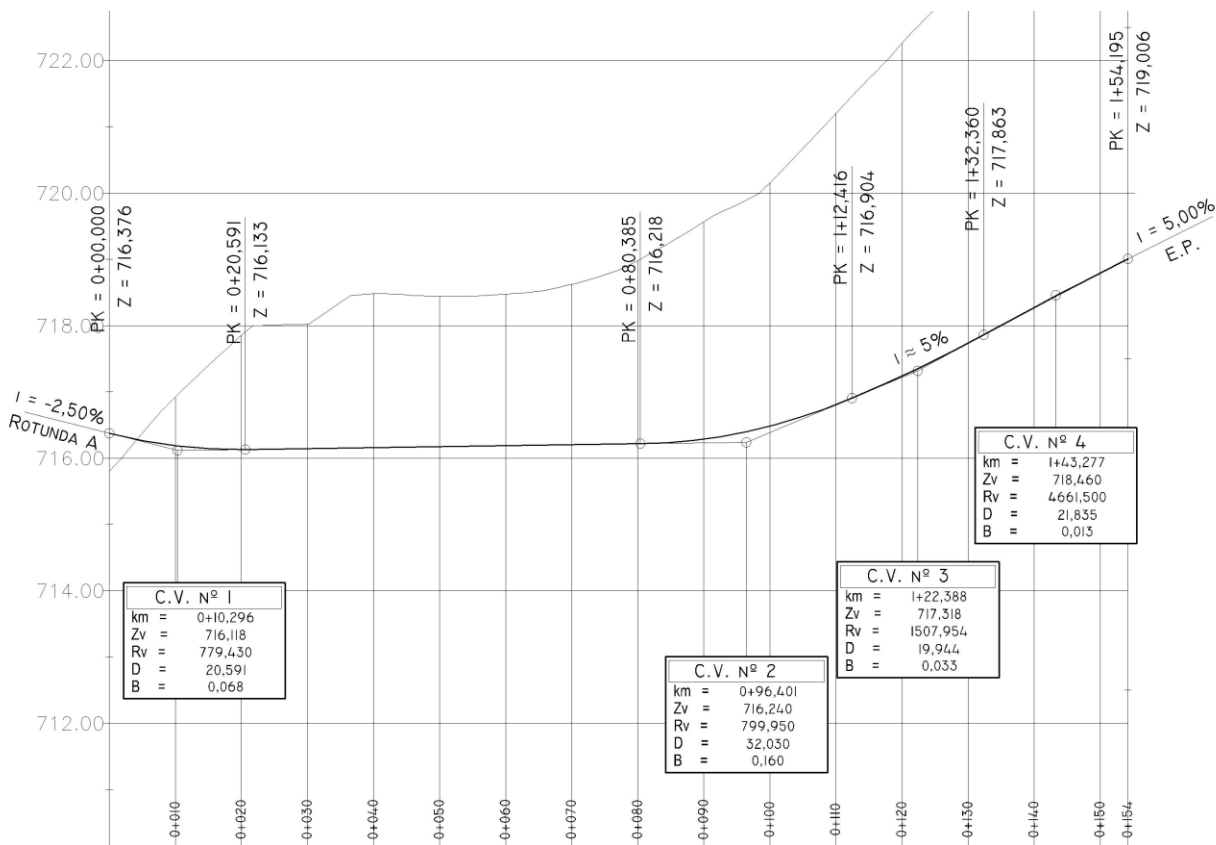


Fig. 31 – Perfil longitudinal do ramo II

No quadro 29 estão representadas as cotas e as características que definem a rasante do ramo II. Verifica-se que é igualmente cumprido o limite máximo de inclinação longitudinal de 8% para este caso.

Quadro 28 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo II

[m]	Cota [m]	Elementos	Características
0+000,000	716,376		i -2,50 %
		Concordância	R -779,430 m
			D 20,591 m
0+020,591	716,133		i 0,14 %
		Trainel	D 59,794 m
0+080,385	716,218		
		Concordância	D 32,030 m
0+112,416	716,904		
		Concordância	D 19,944 m
0+132,360	717,863		
		Concordância	D 21,835 m
0+154,195	719,006		

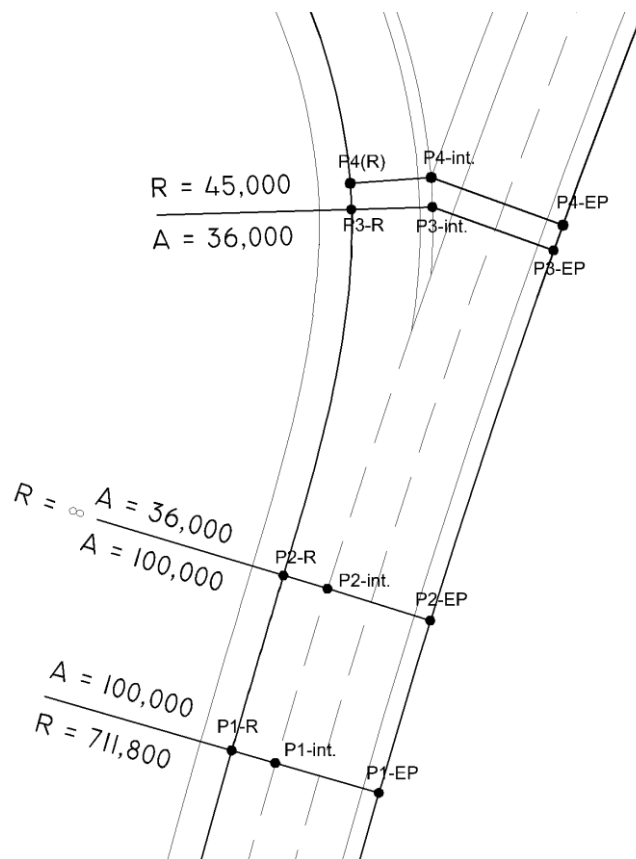


Fig. 32 – Pormenor da ligação do ramo II com a estrada principal

Quadro 29 – Estudo da intersecção do ramo II com a estrada principal

Secção	Ponto	Se [%]	Dist. [m]	Z [m]	Se(EP) + Se(R) [%]
1	P1-EP			718,357	
		5,50	8,30		
	P1-int.			718,813	0,00
		-5,50	3,50		
	P1-R			719,006	
2	P2-EP			717,664	
		5,50	8,30		
	P2-int.			718,121	0,95
		-4,55	3,55		
	P2-R			718,282	
3	P3-EP			716,162	
		5,50	9,92		
	P3-int.			716,707	3,04
		-2,46	6,25		
	P3-R			716,861	
4	P4-EP			716,058	
		5,50	10,80		
	P4-int.			716,652	3,40
		-2,10	6,25		
	P4-R			716,783	

Legenda: Dist. – Distância (em planta) entre pontos

Z – Cota do ponto

Se(EP) – Sobrelevação da E.P. na secção

Se(R) – Sobrelevação do ramo na secção

|Se(EP) + Se(R)| - Diferença entre sobrelevações

Quadro 30 – Estudo da sobreelevação e da sobrelargura no ramo II

[m]	Trajecto	Se [%]	Δ Se/20m [%]	Sl [m]
0+000,000		-0,50(**)		
	Alinhamento recto		-3,7	
0+010,808		-2,50		
	Curva à esquerda		0,0	-
0+044,421		-2,50		
	Transição		3,8	
0+073,222		3,00		
			-2,8	
0+109,344(*)	Curva à direita	-2,10(*)		1,25
			-3,6	
0+111,346		-2,46		
	Transição		-1,5	
0+140,146		-4,55		
	Transição		-1,4	-
0+154,195		-5,5		
	Curva à esquerda (EP)			

Δ Se/20m – Variação da sobreelevação por cada 20 metros de desenvolvimento do ramo

(*) – Relativo ao ponto P4-R da figura 32

3.4.4 RAMO III

Correspondente ao ramo de saída da estrada principal no sentido sul-norte. É o mais extenso de todos os ramos. Para além de curtos alinhamentos rectos, a sua directriz é composta por três curvas, tal como mostra a figura 33. As coordenadas da directriz estão apresentadas no quadro 32.

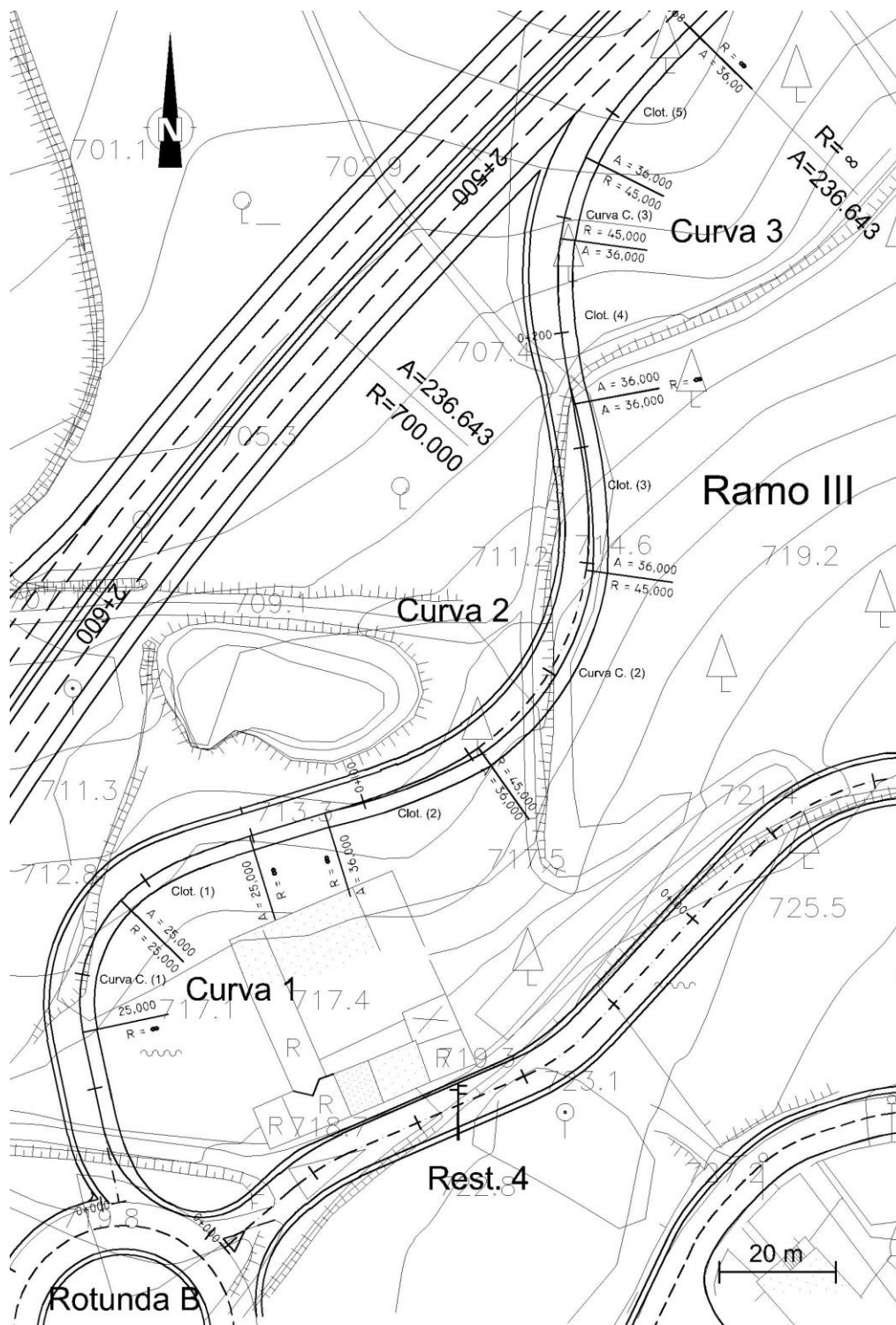


Fig. 33 – Planta do ramo III

Quadro 31 – Coordenadas da directriz do ramo III

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93860,088	199411,340	
Alinhamento recto				
TC	0+029,94	93853,835	199440,623	
CCC		93878,283	199445,844	Curva circular (1)
CS	0+054,55	93860,404	199463,317	
Clotóide (1)				
ST	0+079,55	93882,522	199474,364	
Alinhamento recto				
TS	0+093,15	93895,525	199478,342	
Clotóide (2)				
SC	0+121,95	93921,892	199489,591	
CCC		93895,859	199526,304	Curva circular (2)
CS	0+158,76	93940,444	199520,206	
Clotóide (3)				
SS	0+187,56	93938,224	199548,789	
Clotóide (4)				
SC	0+216,36	93936,005	199577,372	
CCC		93980,589	199571,274	Curva circular (3)
CS	0+231,07	93940,324	199591,367	
Clotóide (5)				
F	0+259,87	93958,268	199613,726	

Legenda: I – Início

TC – Osculação alinhamento recto - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS – Osculação curva circular - clotóide

SC – Osculação clotóide - curva circular

SS – Osculação clotóide - clotóide

F – Fim

Observando a figura, existem dois aspectos mais importantes a salientar:

O primeiro é o facto da curva 3 terminar no ponto exacto em que começa o alinhamento recto na estrada principal. Ou seja, a clotóide (5), poderá terminar com raio infinito, no ponto em que intersecta a berma da E.P.

O segundo aspecto é que, também no ramo III, existe uma “curva em S”, formada pelas curvas 2 e 3. No entanto, as características bastante semelhantes das duas curvas, permitem uma construção geométrica bastante mais simples da “curva em S” – figura 34. Nos quadros seguintes, são apresentados alguns valores relativos à sua construção geométrica.

Quadro 32 – Estudo da Clotóide (1) do ramo III

R [m]	A [m]	L [m]	ΔR [m]	Xm [m]	T [rad]
25,000	25	25,000	1,032	12,397	0,50000

Quadro 33 – Estudo das clotóides (2), (3), (4) e (5) do ramo III

R' [m]	A [m]	L [m]	$\Delta R'$ [m]	Xm' [m]	T' [rad]
45,000	45	28,800	0,765	14,351	0,32000

Quadro 34 – Estudo geral da “curva em S” do ramo III

ΔX [m]	ΔY [m]	D [m]	θ (rad)
28,702	91,530	95,925	0,30369

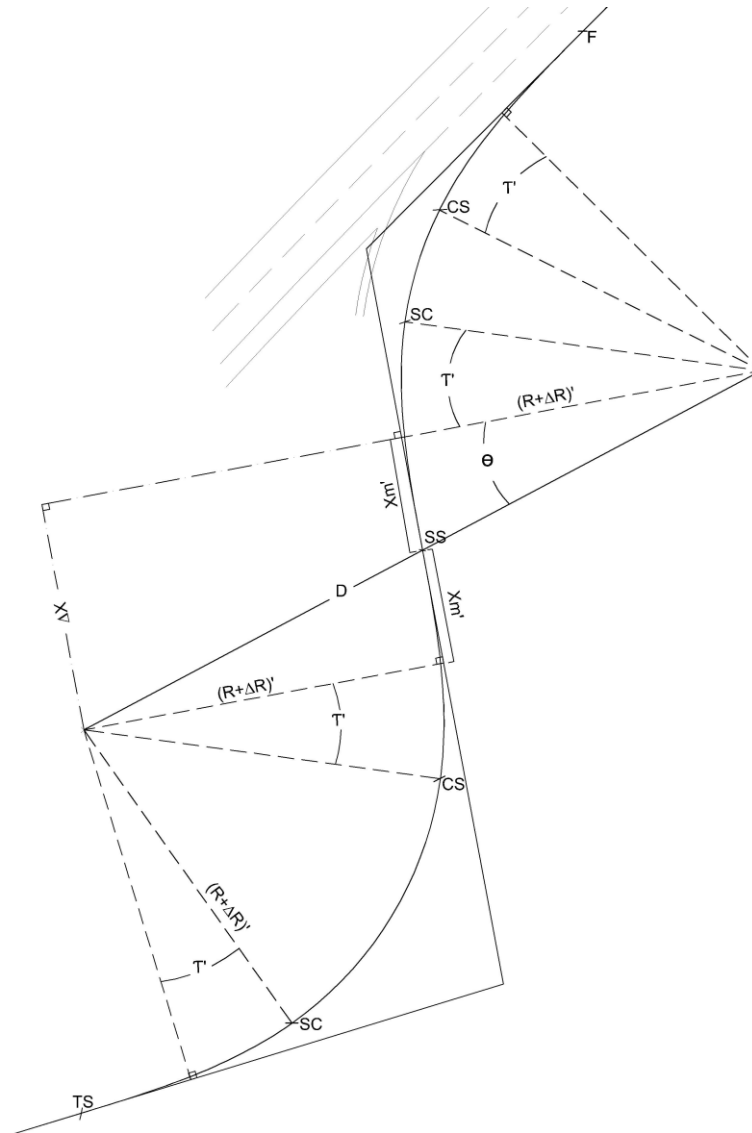


Fig. 34 – Construção geométrica da “curva em S” do ramo III

No estudo deste ramo surgiram alguns factores, importantes de referir, que condicionaram, em grande parte, a sua geometrização. Um desses factores é a elevada diferença entre a cota da rotunda B e a cota de qualquer ponto de ligação do ramo III com a E.P. Por outro lado, devido à inclinação da E.P., quanto mais esse ponto se afasta para norte, ainda maior é essa diferença. Na execução geométrica do ramo III, optou-se por afastar o referido ponto, para norte, a distância suficiente, até que houvesse o espaço necessário para a inserção de três curvas. Estas permitiram aumentar bastante o desenvolvimento do ramo, e dessa forma, diminuir a sua inclinação até ao limite máximo de 10% recomendado para traneis em declive nos ramos dos nós (conforme quadro 60 do anexo A6)

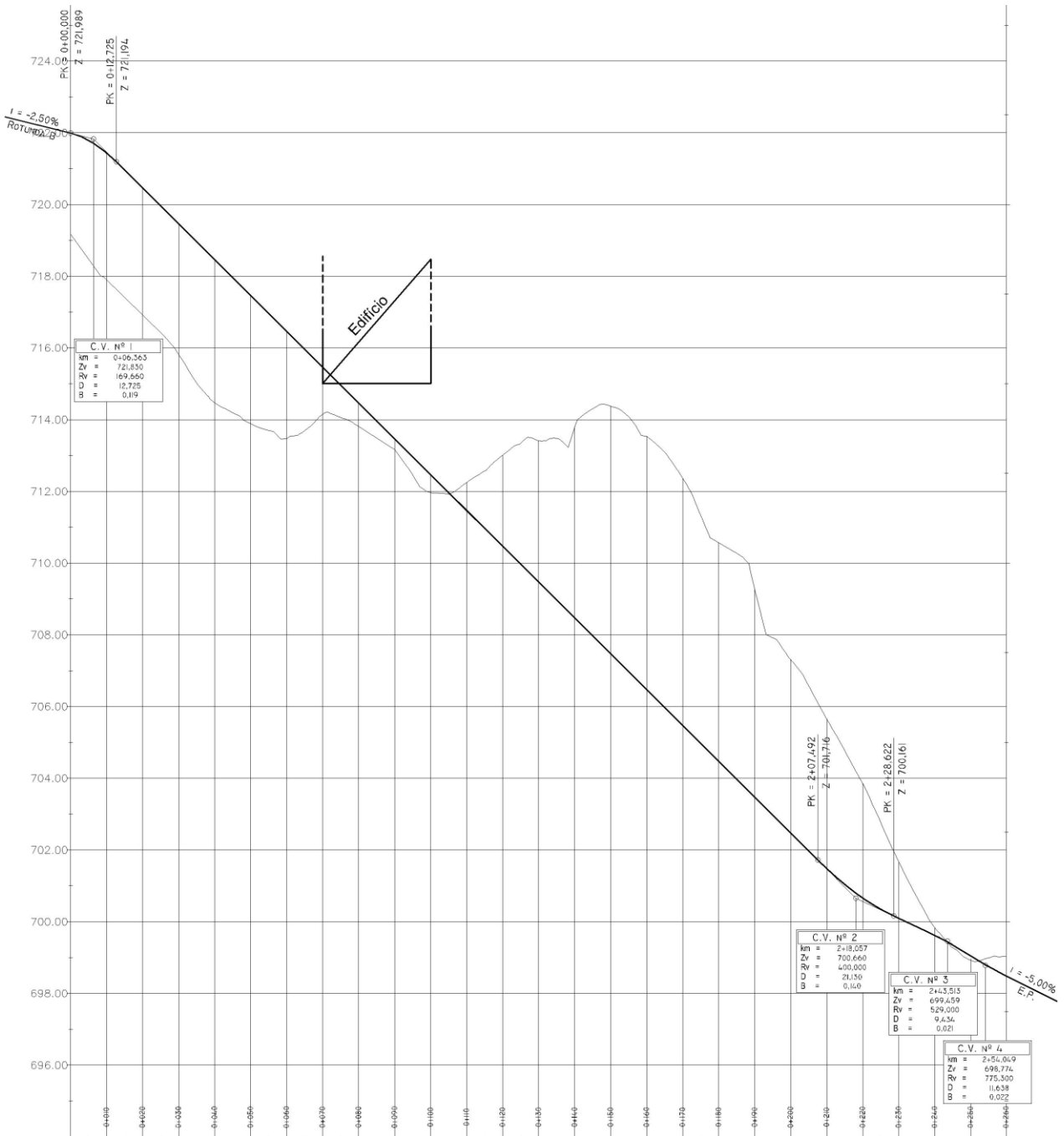


Fig. 35 – Perfil longitudinal do ramo III

Um segundo factor de preocupação, na execução deste projecto, foi a existência de um edifício e um lago, na zona de implantação do ramo III. Por razões ambientais, decidiu-se manter a existência do lago, fazendo passar o eixo do ramo entre o lago e a habitação.



Fig. 36 – Pormenor de condicionantes de ocupação do solo para o ramo III

Analisando a figura 36, verifica-se que o edifício está distanciado a mais de 10m da berma exterior do ramo. Tendo em consideração o pequeno desnível entre a soleira deste obstáculo e o eixo do ramo – figura 35 –, considerou-se esta distância suficiente para a realização dos movimentos de terra necessários, sem implicar qualquer transtorno na estrutura do edifício.

Em relação ao lago, devido à sua inevitável proximidade da berma interior do ramo, considerou-se que, talvez, fosse necessário construir o talude de aterro do ramo sobre parte da área ocupada pelo lago.

Seguidamente, no quadro 36, apresenta-se as cotas e as características definidoras da rasante do ramo III.

Quadro 35 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo III

[m]	Cota [m]	Elementos	Características		
0+000,000	721,989		i	-2,50%	%
		Concordância	R	169,660	m
			D	12,725	m
0+012,194	721,194				
		Trainel	i	-10,00	%
			D	194,766	m
0+207,492	701,716				
		Concordância	R	-400,000	m
			D	21,130	m
0+228,622	700,161				
		Trainel	i	-4,72	%
			D	10,174	m
0+238,796	699,681				
		Concordância	R	21,130	m
			D	9,434	m
0+248,230	699,152				
		Concordância	R	-775,300	m
			D	11,638	m
0+259,868	698,483		i	-5,00	%

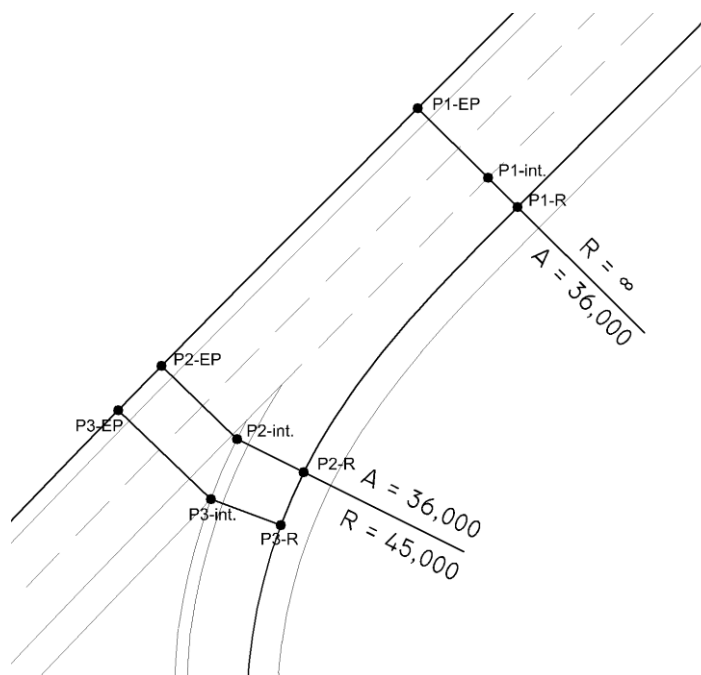


Fig. 37 – Pormenor de ligação do ramo III com a estrada principal

Quadro 36 – Estudo da intersecção do ramo III com a estrada principal

Secção	Ponto	Se [%]	Dist. [m]	Z [m]	Se(EP) + Se(R) [%]
1	P1-EP			698,778	
		-2,50	8,30		
	P1-int.			698,571	0,00
		2,50	3,50		
	P1-R			698,483	
2	P2-EP			700,305	
		-3,65	8,83		
	P2-int.			699,983	4,65
		-1,00	6,25		
	P2-R			700,046	
3	P3-EP			700,565	
		-3,84	10,80		
	P3-int.			700,150	5,95
		-2,11	6,25		
	P3-R			700,282	

Legenda: Dist. – Distância (em planta) entre pontos

Z – Cota do ponto

Se(EP) – Sobreelevação da E.P. na secção

Se(R) – Sobreelevação do ramo na secção

|Se(EP) + Se(R)| - Diferença entre sobreelevações

Quadro 37 – Estudo da sobrelevação e da sobrelargura no ramo III

[m]	Trajecto	Se [%]	Δ Se/20m [%]	SI [m]
0+000,000		2,52		
	Alinhamento recto		0,3	-
0+029,943		3,00		
	Curva à direita		0,0	1,25
0+054,550		3,00		
	Transição		-0,4	
0+079,550		2,50		
	Alinhamento Recto		-3,7	-
0+093,149		0,00		
	Transição		-2,8	
0+121,948		-4,00		
	Curva à esquerda		0,0	1,25
0+158,757		-4,00		
	Transição		1,0	
0+187,557		-2,5		-
	Transição		0,0	
216,357		-2,5		
			0,8	
0+226,215(*)	Curva à direita	-2,11(*)		1,25
			4,6	
0+231,069		-1,00		
	Transição		2,4	
0+259,868		2,5		-
	Curva à direita (EP)			

Δ Se/20m – Variação da sobrelevação por cada 20m de desenvolvimento do ramo

(*) – Relativo ao ponto P3-R da figura 37

3.4.5 RAMO IV

O ramo IV é o que permite a saída na E.P. no sentido sul-norte, estabelecendo ligação com a rotunda B. A sua directriz – figura 38 – é composta por duas curvas. As coordenadas que a definem estão representadas do quadro 39.

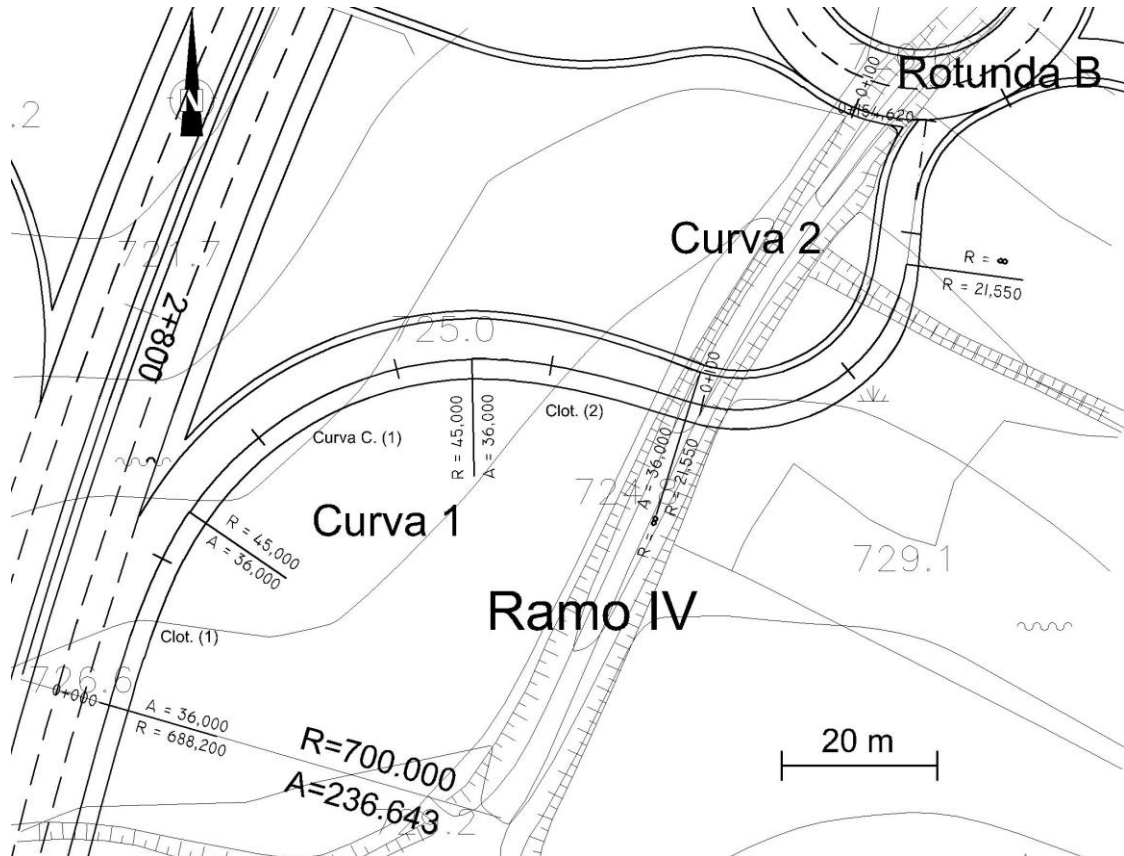


Fig. 38 – Planta do ramo IV

Quadro 38 – Coordenadas da directriz do ramo IV

Ponto	[m]	M	P	Elemento
I	0+000,00	93756,928	199290,345	
				Clotóide (1)
SC	0+026,92	93767,199	199315,098	
CCC				Curva circular (1)
CS	0+069,74	93803,465	199334,706	
				Clotóide (2)
SC	0+098,54	93831,599	199329,191	
CCC				Curva circular
CT	0+135,96	93859,326	199346,885	
				Alinhamento recto
F	0+154,62	93861,830	199365,373	

Legenda: I - Início

SS – Osculação clotóide - clotóide

SC – Osculação clotóide - curva circular

CCC – Centro curva circular

CS – Osculação curva circular - clotóide

ST – Osculação alinhamento recto - clotóide

TC – Alinhamento recto - curva circular

CT – Curva circular - alinhamento recto

F – Fim

No caso do ramo IV, curva 1 que faz ligação com a estrada principal, é uma curva ovóide. Esta permite, através de uma clotóide, a transição mais cómoda e segura entre duas curvas circulares com raios diferentes. Como se pode confirmar na figura 38, depois da curva circular na E.P. com raio 688,2m, vem uma curva à direita no ramo IV com raio 45m.

Nos quadros seguintes são apresentados alguns valores relativos ao estudo geométrico da curva ovóide. O esquema da sua construção encontra-se representado na figura 39.

Quadro 39 – Estudo da clotóide (1) do ramo IV

Rp [m]	A [m]	L [m]	ΔR_p [m]	Xmp [m]	Tp [rad]
45,000	36	28,800	0,765	14,351	0,32000

Quadro 40 – Estudo da clotóide (2) do ramo IV

Rg [m]	A [m]	L [m]	ΔR_g [m]	Xmg [m]	Tg [rad]
688,200	36	1,883	0,0002(*)	0,942	0,00137

Quadro 41 – Estudo geral da curva ovóide do ramo IV

ΔX [m]	ΔY [m]	D [m]	ϵ (rad)
13,409	642,435	642,575	0,02086

Após a definição completa da directriz, realizou-se o perfil longitudinal do ramo IV – figura 40, cujas cotas e características da rasante estão representadas no quadro 43.

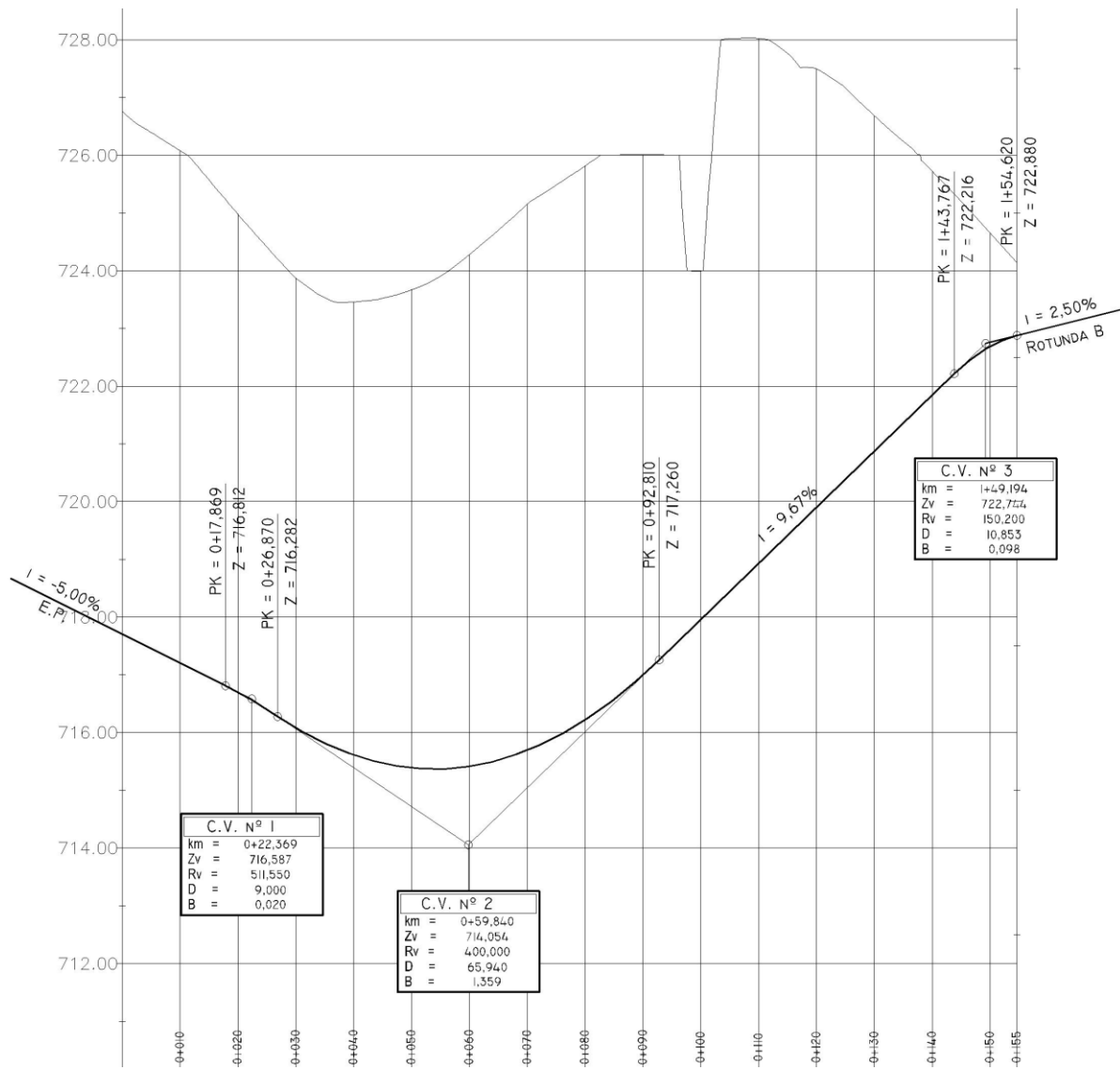


Fig. 40 – Perfil longitudinal do ramo IV

Quadro 42 – Cotas e características definidoras da rasante do ramo IV

[m]	Cota [m]	Elementos	Características		
0+000,000	717,705		i	-5,00	%
		Trainel	i	-5,00	%
			D	17,869	m
0+017,869	716,812		R	511,550	m
		Concordância	D	9,000	m
0+026,870	716,282			R	-400,000
		Concordância	D	65,940	m
0+092,810	717,260			i	9,73
		Trainel	D	50,957	m
0+143,767	722,216			R	150,200
		Concordância	D	10,853	m
0+154,620	722,880			i	2,50

Neste caso em concreto, os condicionamentos resultantes da ligação do ramo com a E.P. exigiram, como se pode observar na figura 40, a formação de uma grande concavidade na rasante a meio do perfil longitudinal. Em resultado disso, agravou-se a inclinação do trainel ascendente, fazendo-a ultrapassar ligeiramente o limite de 8% recomendado (quadro 60 do anexo 6).

Pode-se constatar ainda, que a rasante, para além de formar a concavidade, encontra-se em escavação em toda a sua extensão. Este facto, em condições mais adversas que no caso do ramo II, levantará alguns problemas de drenagem que serão estudados com maior pormenor no subcapítulo seguinte.

Na figura e quadros que se seguem, apresentam-se os estudos complementares à definição da rasante ramo IV.

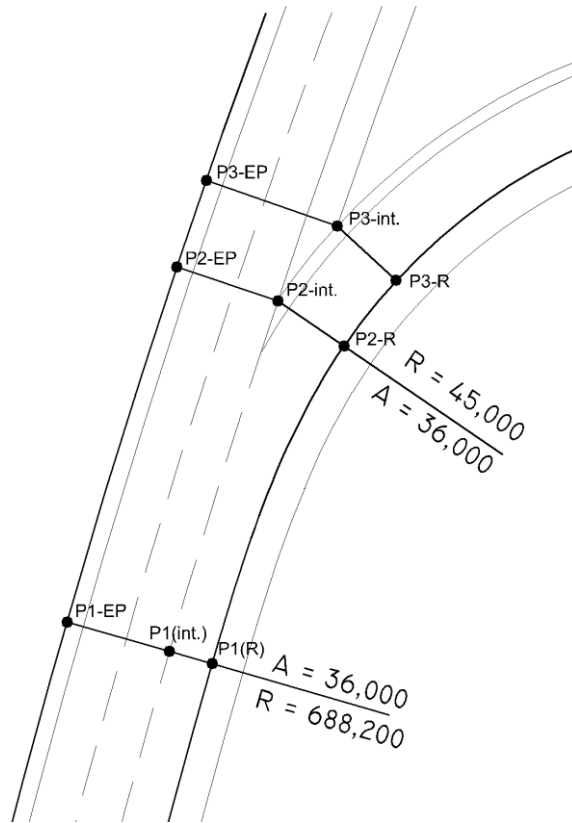


Fig. 41 – Pormenor de ligação do ramo IV com a estrada principal

Quadro 43 – Estudo da intersecção do ramo IV com a estrada principal

Secção	Ponto	Se [%]	Dist. [m]	Z [m]	Se(EP) + Se(R) [%]
1	P1-EP			718,354	
		-5,50	8,30		
	P1-int.			717,705	0,00
		5,50	3,50		
	P1-R			717,898	
2	P2-EP			716,907	
		-5,50	8,30		
	P2-int.			716,279	2,75
		2,75	6,24		
	P2-R			716,451	
3	P3-EP			716,552	
		-5,50	10,80		
	P3-int.			715,891	4,42
		1,08	6,25		
	P3-R			715,958	

Legenda: Dist. – Distância (em planta) entre pontos
 Z – Cota do ponto
 Se(EP) – Sobrelevação da E.P. na secção
 Se(R) – Sobrelevação do ramo na secção
 |Se(EP) + Se(R)| - Diferença entre sobrelevações

Quadro 44 – Estudo da sobreelevação e da sobrelargura no ramo IV

Ramo IV				
[m]	Orientação	Se [%]	Δ Se/20m [%]	SI [m]
Curva à direita (EP)				
0+000,000		5,50		
Transição			-2,0	
0+026,919		2,75		
Transição			-5,1	
0+033,455(*)	Curva à direita	1,08(*)		1,25
Transição			-0,6	
0+069,744		0,00		
Transição			-1,7	
0+098,544		-2,5		
Curva à esquerda			1,3	
0+135,963		0,00		
Alinhamento recto			2,1	
0+154,620		1,95		

Δ Se/20m – Variação da sobreelevação por cada 20 metros de desenvolvimento do ramo

(*) – Relativo ao ponto P4-R da figura 41

3.5 VIAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

Num projecto desta natureza, após a elaboração dos ramos de ligação, é imprescindível o dimensionamento das vias de variação de velocidade. Estas vias, pelo que o próprio nome indica, são criadas especificamente para as variações de velocidade dos veículos que pretendem entrar ou sair da E.P., evitando constrangimentos ao tráfego.

Neste projecto, inseriram-se duas vias de aceleração e duas vias de abrandamento. Cada uma tem a largura de 3,5m, e o seu comprimento varia consoante as condições impostas pelas normas para cada um dos casos.

Para este estudo utilizaram-se as normas espanholas – quadros 56 e 58 nos anexos A4 e A5 –, onde a extensão das vias de aceleração e de abrandamento, e o raio dos “tapers”, variam com a velocidade específica do ramal e com a velocidade base da estrada principal. Por sua vez, a extensão das vias auxiliares, pode ainda ser afectada por um factor correctivo – quadros 57 e 59 nos anexos A4 e A5 – relacionado com a inclinação da E.P.

Em todos os casos utilizou-se um “taper” com 75m de raio. Na figura 43 está representado, como exemplo, o pormenor da via de abrandamento do ramo I.

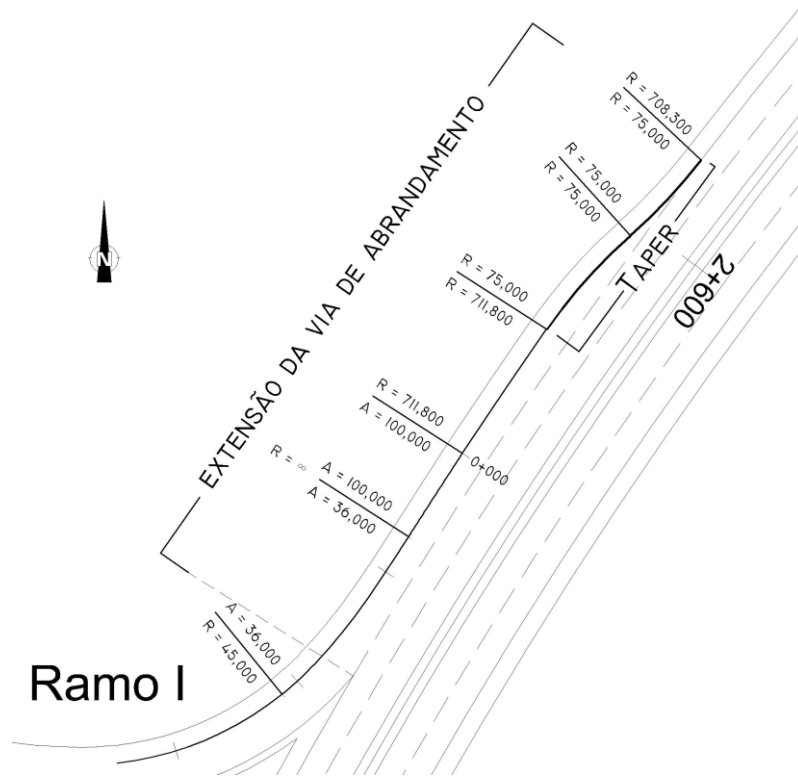


Fig. 43 – Via de abrandamento do ramo I

Como se pode observar pela figura, a extensão da via de variação de velocidade é medida, desde o ponto de intersecção das bermas da E.P. e do ramo, até ao ponto final do “taper”.

3.5.1 VIAS DE ABRANDAMENTO

No quadro 45 apresenta-se o valor da extensão efectiva ($L_{efect.}$) das vias de abrandamento de entrada nos ramos I e IV.

Quadro 45 – Estudo das vias de abrandamento

Ramo	$i_{E.P.}$ [%]	$VB_{E.P.}$ [km/h]	$V_{projecto}$ [km/h]	$F_{correctivo}$	$L_{efect.}$ [m]
I	5,0	100	40	0,80	88
IV	- 5,0		40	1,35	148,5

3.5.2 VIAS DE ACELERAÇÃO

No quadro 47 apresenta-se o valor da extensão efectiva ($L_{efect.}$) das vias de aceleração de saída dos ramos II e III.

Quadro 46 – Estudo das vias de aceleração

Ramo	$i_{E.P.}$ [%]	$VB_{E.P.}$ [km/h]	$V_{projecto}$ [km/h]	$F_{correctivo}$	$L_{efect.}$ [m]
II	5,0	100	40	1,90	380
III	- 5,0		40	0,50	100

Como se pode verificar no quadro anterior, o factor de correcção associado à velocidade de projecto de 40km/h, nas circunstâncias do ramo II, toma um valor bastante elevado, resultando uma via de aceleração muito extensa. Por um lado, este facto aumenta consideravelmente os custos da obra devido ao maior consumo de espaço e ao aumento dos movimentos de terra necessários para a construção da E.P. Por outro lado, a escolha de uma velocidade de projecto mais baixa, vai permitir, tal como já foi referido anteriormente, a redução do espaço ocupado pelo nó e a diminuição da inclinação dos ramos de ligação.

4

CONCLUSÕES

Como autor desta dissertação, ao longo do trabalho confrontei-me com algumas dificuldades, quer relacionadas com a utilização do software “AutoCAD Civil 3D 2010”, quer inerentes à minha inexperiência na elaboração de projectos de vias de comunicação. No entanto, o evoluir da aprendizagem no funcionamento do programa de desenho, traduziu-se num forte auxílio para a criação de várias soluções de uma forma mais rápida e exacta, para além de que, também me permitiu elaborar imagens bastante elucidativas e explicativas da resolução dos vários problemas.

No decorrer do projecto, a principal dificuldade encontrada, foi no acto de precaver certo tipo de situações menos desejáveis. Uma delas está relacionada com o valor do raio mínimo adoptado para o ramo II. Talvez tivesse sido benéfica a escolha de um raio ligeiramente superior que reduzisse a extensa via de aceleração. No entanto, a avaliação das vantagens e desvantagens de cada uma das soluções, tem algum carácter subjectivo. A escolha da solução mais próxima da óptima implicaria a realização de um estudo mais detalhado de medições e custos da obra.

Por fim, saliento que toda a parte escrita nesta dissertação, é um apenas um complemento justificativo, teórico, e de apoio à interpretação das peças desenhadas. O cerne do resultado final deste projecto, está todo ele incluído nas plantas, e perfis longitudinais contidos nos anexos.

BIBLIOGRAFIA

JAE, 1994 – *Norma de Traçado*, JAE P3/94; 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, 1990 – *Norma de Intersecções*, JAE P5/90; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

França, Adalberto Quelhas da Silva – *Sebenta de Vias de Comunicação I*, FEUP, 1995

França, Adalberto Quelhas da Silva – *Sebenta de Vias de Comunicação II*, FEUP, 1995

França, Adalberto Quelhas da Silva – *Tópicos e Resumos de Complementos de Estrada e Aeródromos*

ANEXOS

A1 ESTUDOS EFECTUADOS PARA AS INTERSECÇÕES ENTRE ROTUNDAS E RAMOS DE LIGAÇÃO

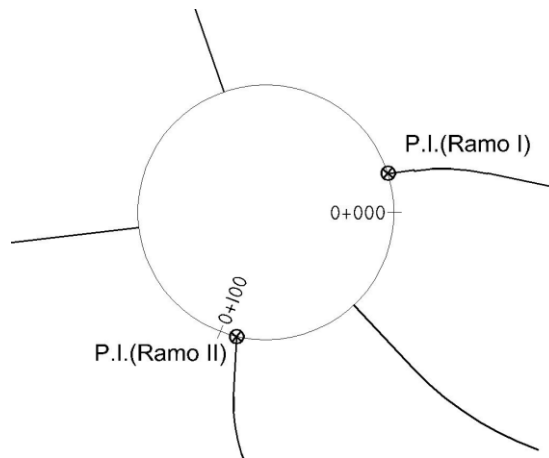


Fig. 44 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda A e os eixos dos ramos I e II

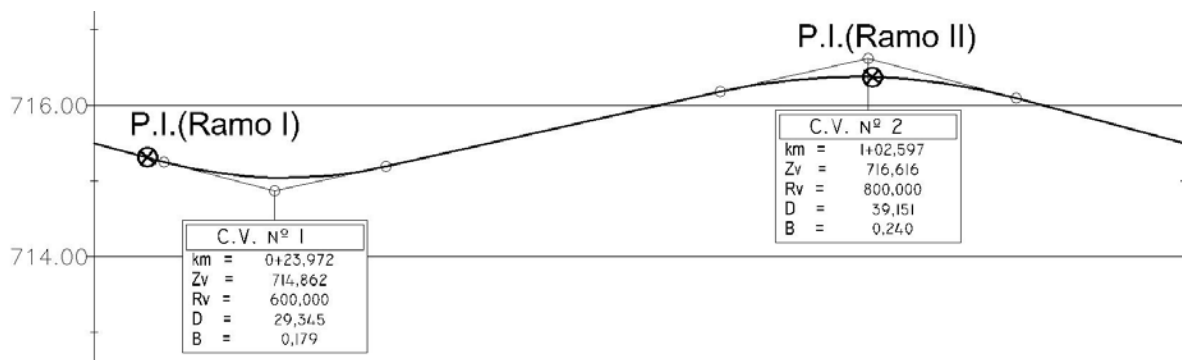


Fig. 45 – Intersecção entre a rasante da rotunda A e os eixos dos ramos I e II

Quadro 47 – Estudo dos ramos I e II nos pontos de intersecção com a rotunda A

P.I.	[m]	Cota [m]	Características da rasante (rotunda)	Se _{ramo} [%]
(Ramo I)	0+007,109	715,311	Trainel	i = -2,66%
				i1 = 2,23%
(Ramo II)	0+103,127	716,375	Concordância	R = 800,000m
				x = 20,106m

i1 – Inclinação do primeiro trainel tangente à concordância

x – Distância do ponto de intersecção ao ponto de início da concordância

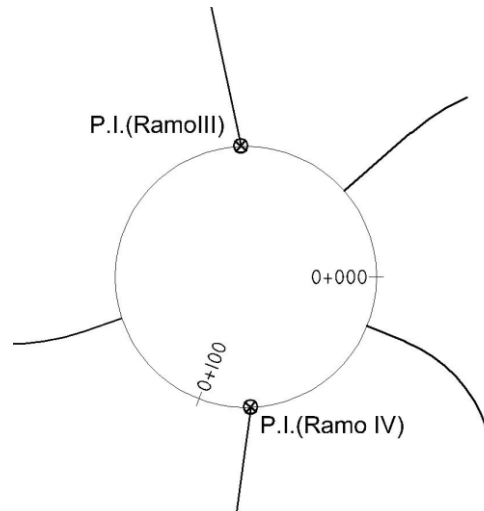


Fig. 46 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda B e os eixos dos ramos III e IV

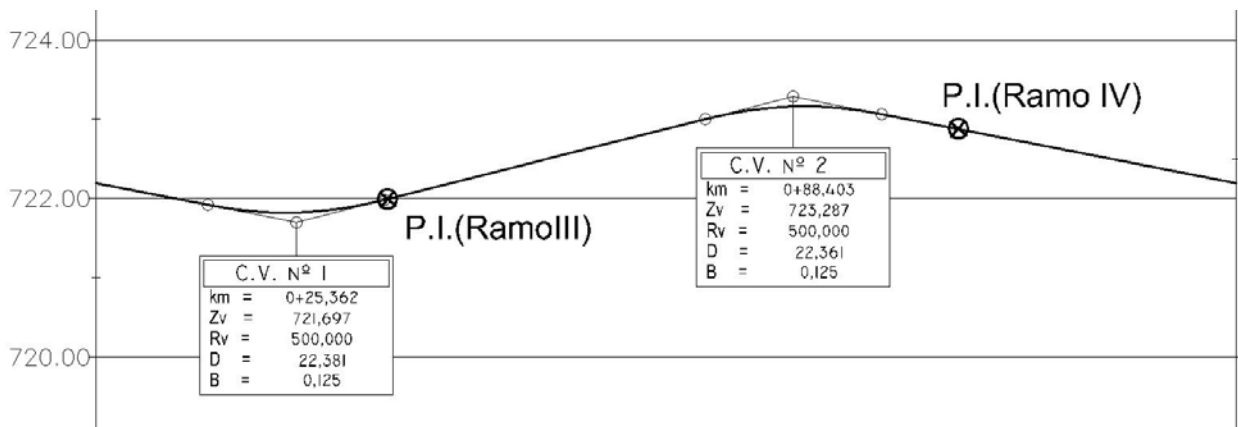


Fig. 47 – Intersecção entre a rasante da rotunda B e os eixos dos ramos III e IV

Quadro 48 – Estudo dos ramos III e IV nos pontos de intersecção com a rotunda B

P.I.	[m]	Cota [m]	Características da rasante (rotunda)		Se _{ramo} [%]
Ramo III	0+036,947	721,989	Trainel	i = 2,52%	2,52
Ramo IV	0+109,309	722,880	Trainel	i = -1,95%	1,95

A2 ESTUDOS EFECTUADOS PARA AS INTERSECÇÕES ENTRE ROTUNDAS E RESTABELECIMENTOS

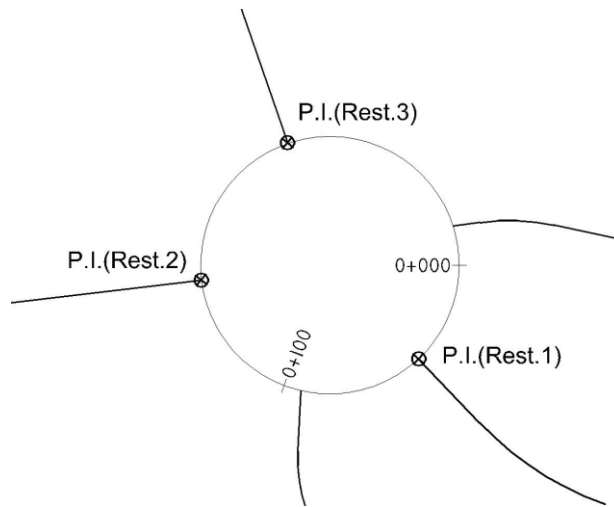


Fig. 48 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda A e os eixos dos restabelecimentos 1, 2 e 3

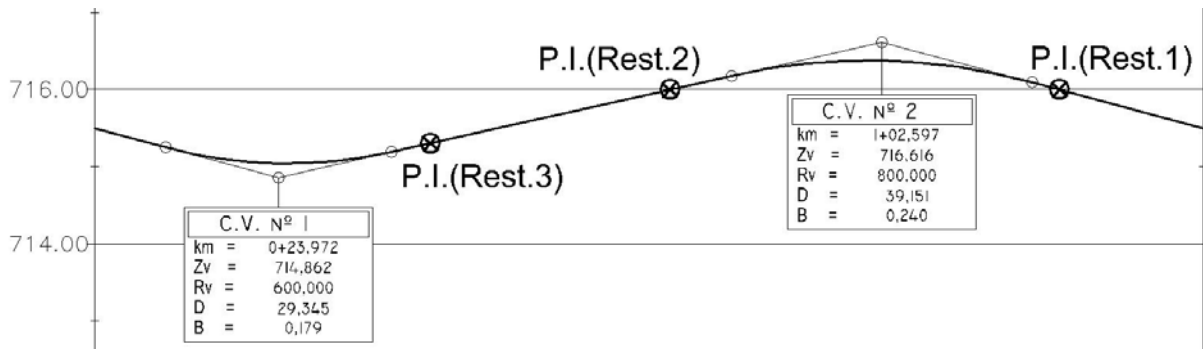


Fig. 49 – Intersecção entre a rasante da rotunda A e os eixos dos restabelecimentos 1, 2 e 3

Quadro 49 – Estudo dos restabelecimentos 1, 2 e 3 nos pontos de intersecção com a rotunda A

P.I.	[m]	Cota [m]	Características da rasante (rotunda)		Se _{rest.} [%]
(Rest.3)	0+043,778	715,305	Trainel	i = 2,23%	+/- 2,52
(Rest.2)	0+074,959	716,000			+/- 2,52
(Rest.1)	0+125,748	716,000	Trainel	i = -2.66%	+/- 2.66%

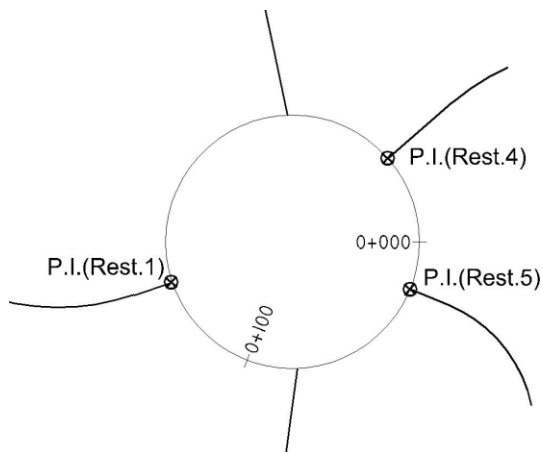


Fig. 50 – Intersecção em planta entre o eixo da rotunda B e os eixos dos restabelecimentos 1, 4 e 5

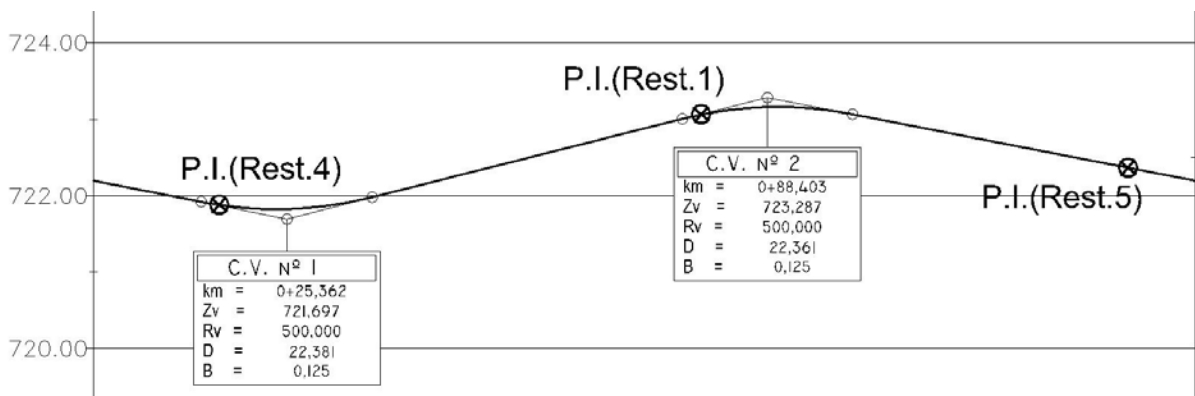


Fig. 51 – Intersecção entre a rasante da rotunda B e os eixos dos restabelecimentos 1, 4 e 5

Quadro 50 – Estudo dos restabelecimentos 1, 4 e 5 nos pontos de intersecção com a rotunda B

P.I.	[m]	Cota [m]	Características da rasante (rotunda)	Se _{rest.} [%]
			i1 = -1,95%	
(Rest.4)	0+016,505	721,876	Concordância R = -500,000m x = 2,334m	+/- 1,48
			i1 = 2,52%	
(Rest.1)	0+079,739	723,063	Concordância R = 500,000m x = 2,334m	+/- 2,02
(Rest.5)	0+135,702	722,364	Trainel i = -1,95%	+/- 1,95

i1 – Inclinação do primeiro trainel tangente à concordância

x – Distância do ponto de intersecção ao ponto de início da concordância

A3 NORMAS APLICADAS DA JUNTA AUTÓNOMA DAS ESTRADAS

Quadro 51 – Norma da variação máxima da sobrelevação nos ramos dos nós

V_{projecto} [Km/h]	$\Delta Se_{\text{max}} / 20\text{m}$ [%]
<30	5,3
40	4,7
50	4
≥ 60	3,3

Quadro 52 – Norma da sobrelargura das curvas dos ramos dos nós

R [m]	SI / via [m]
35	2,00
45	1,25
55	1,00
65	0,60
75	0,30
90	0,00

Quadro 53 – Norma da diferença máxima entre as inclinações transversais dos ramos e da E.P na zona pavimentada comum

V_{projecto} [Km/h]	$ Se(EP) + Se(R) _{\text{max}}$ [%]
25 e 30	5 a 8
40 e 50	5 a 6
>60	4 a 5

Legenda: Se(EP) – Sobrelevação da E.P.

Se(R) – Sobrelevação do ramo

Quadro 54 – Norma da distância de visibilidade de paragem (DVP)

V [Km/h]	DVP [m]
30	30
40	40
50	60
60	80
70	200
80	120
100	180
120	250

A4 NORMAS ESPANHOLAS PARA VIAS DE ABRANDAMENTO

Quadro 55 – Norma do comprimento das vias de abrandamento (para traineis com $i \leq \pm 2\%$)

Velocidade de projecto do ramal [km/h]	STOP	25	30	40	50	60	80
Raio mínimo do ramal [m]		15	25	45	75	120	250

$V_{E.P.}$ [km/h]	“Taper” [m]	Extensão da via auxiliar incluído “Taper” [m]						
50	45	70	55	45	45	-	-	-
60	55	90	70	70	55	55	-	-
70	60	105	90	90	75	60	60	-
80	65	120	105	105	90	75	65	-
100	75	140	125	125	110	95	80	75
120	90	160	145	145	130	130	110	90

Quadro 56 – Factor correctivo do comprimento das vias de abrandamento

Velocidade da E.P. [km/h]	Inclinação [%]	Factor correctivo	
		Rampa	Declive
Todas	3 a 4	0,90	1,20
Todas	5 a 6	0,80	1,35

A5 NORMAS ESPANHOLAS PARA VIAS DE ACELERAÇÃO

Quadro 57 – Norma do comprimento das vias de aceleração (para traineis com $i \leq \pm 2\%$)

Velocidade de projecto do ramal [km/h]	STOP	25	30	40	50	60	80	
Raio mínimo do ramal [m]		15	25	45	75	120	250	
$V_{E.P.}$ [km/h]	"Taper" [m]	Extensão da via auxiliar incluído "Taper" [m]						
50	45	55	45	45	45	-	-	-
60	55	90	75	65	55	55	-	-
70	60	125	110	90	75	60	60	-
80	65	165	150	130	110	85	65	-
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

Nota: Este quadro é valido apenas para estradas sem grandes intensidades de tráfego

Quadro 58 - Factor correctivo do comprimento das vias de aceleração

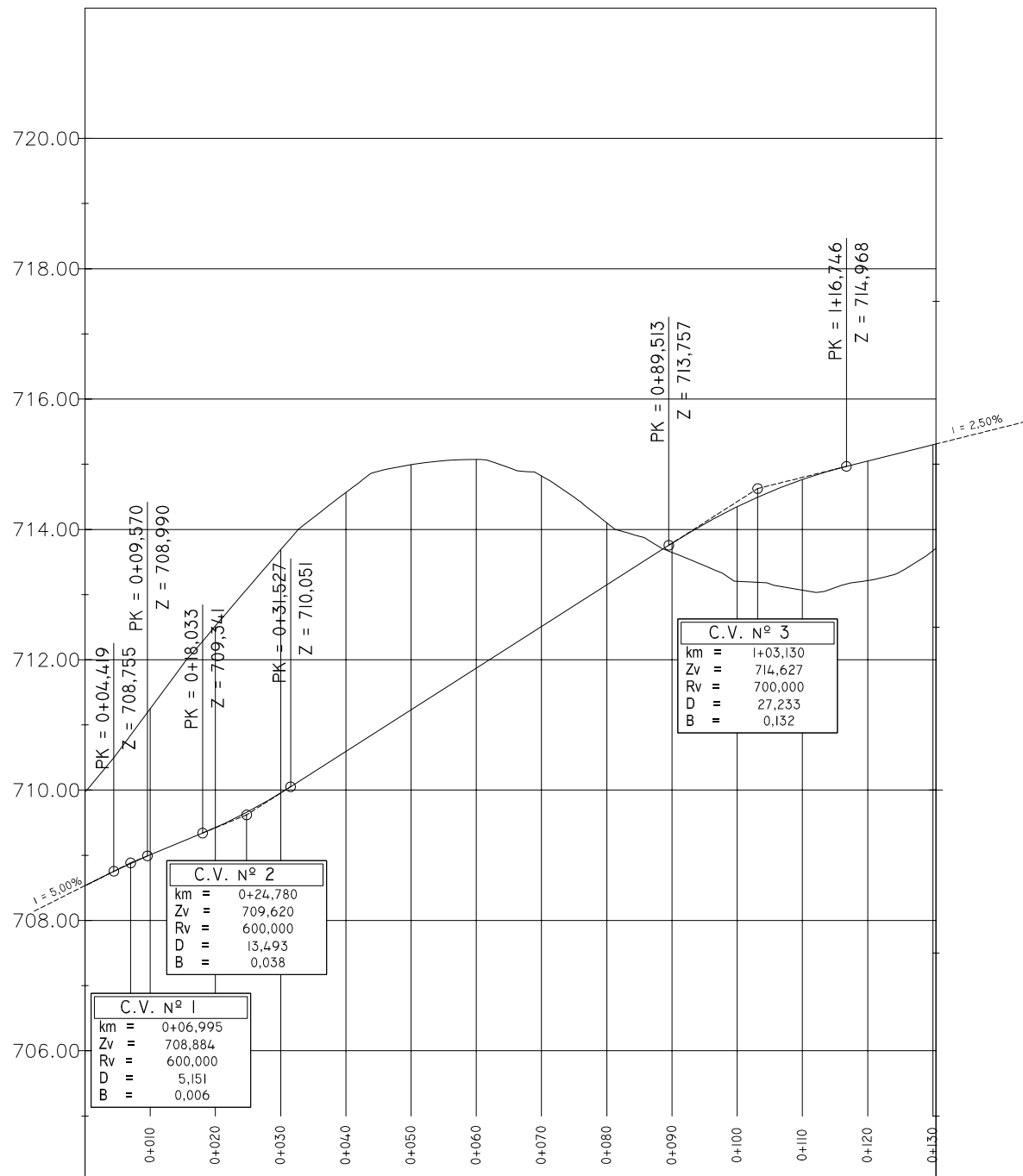
Velocidade da E.P. [km/h]	Inclinação [%]	Velocidade de projecto do ramal [km/h]					
		Rampa					Declive
		30	40	50	60	80	Todas
Factor correctivo							
50	± 3 a 4	1,30	1,30	-	-	-	0,70
60		1,30	1,30	1,30	-	-	0,70
70		1,30	1,30	1,30	1,30	-	0,65
80		1,40	1,40	1,40	1,40	-	0,65
100		1,40	1,50	1,60	1,60	1,70	0,60
120		1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	0,60
50	± 5 a 6	1,50	1,50	-	-	-	0,60
60		1,50	1,50	1,50	-	-	0,60
70		1,50	1,50	1,60	1,60	-	0,55
80		1,60	1,60	1,70	1,80	-	0,55
100		1,80	1,90	2,00	2,20	2,60	0,50
120		2,10	2,20	2,30	2,60	3,10	0,50

A6 OUTROS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DOS RAMOS DOS NÓS

Quadro 59 – Inclinações máximas recomendadas dos traneis dos ramos dos nós

V_{projecto} [km/h]	Rampa	Declive
≥ 70	5%	7%
> 55	6%	8%
> 40	7%	9%
≤ 40	8%	10%

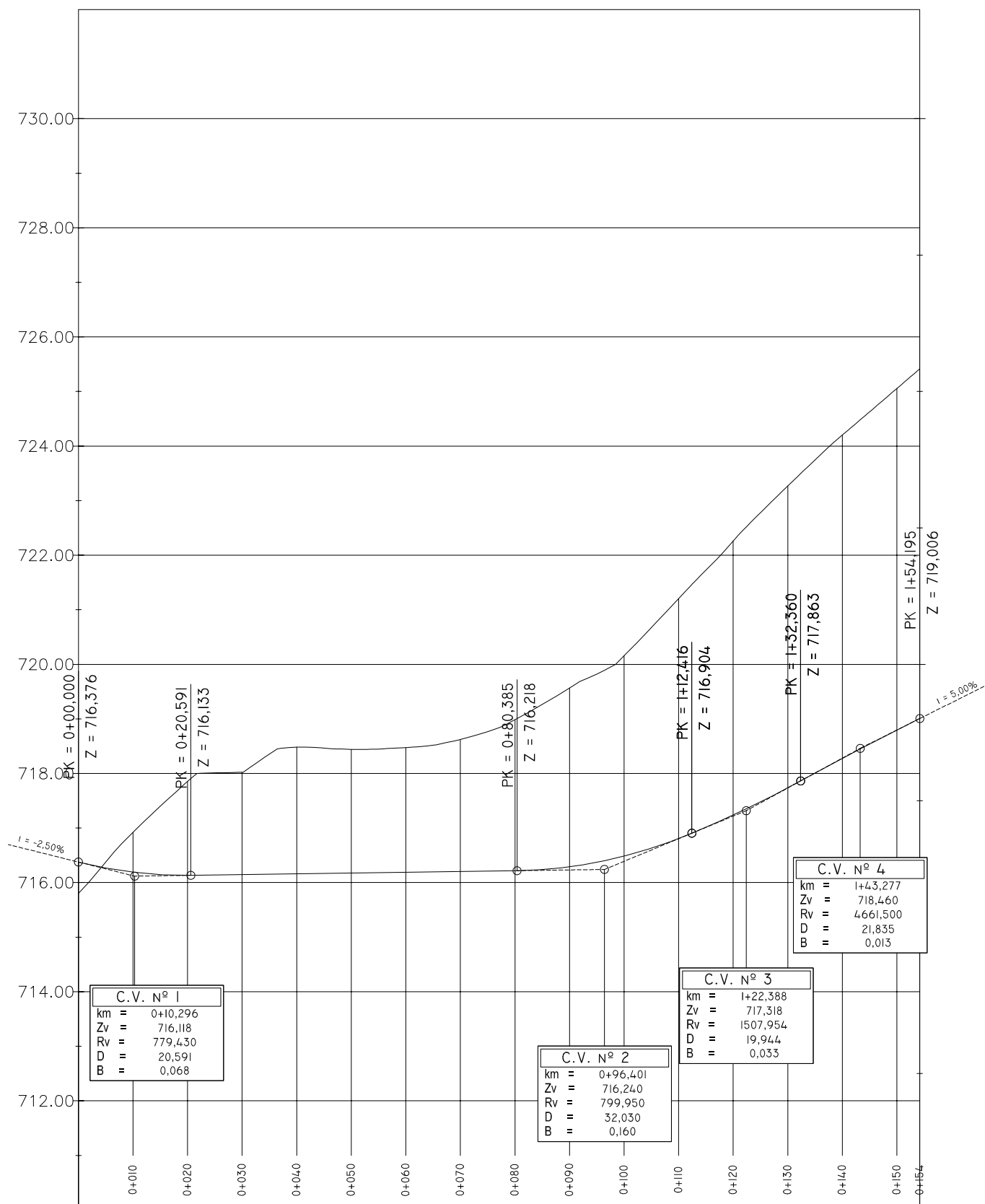
PERFIL LONGITUDINAL RAMO I



COTAS DA RASANTE	708,784	709,008	709,215	709,426	709,670	709,956	710,273	710,593	710,912	711,232	711,551	711,871	712,191	712,510	712,830	713,149	713,469	713,788	714,086	714,349	714,575	714,766	714,922	715,049	715,174	715,299		
COTAS DA TERRENO	710,574	711,250	711,926	712,517	713,105	713,689	714,181	714,566	714,893	714,993	715,054	715,075	714,949	714,820	714,493	714,103	713,895	713,648	713,443	713,206	713,164	713,068	713,107	713,215	713,349	713,672		
ELEMEN. DA RASANTE	i = 5,00% D = 4,270 R = 600,000		i = 4,00% D = 8,143 R = 600,000		i = 2,40% D = 13,493 R = 600,000		i = 2,66% D = 57,987 R = 700,000		i = 2,66% D = 27,233 R = 700,000		i = 2,66% D = 15,743 R = 700,000		i = 2,50%															
PONTOS NOTÁVEIS	0+014,049			0+042,819			0+068,496			0+097,296			0+112,559			0+125,763												
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 14,049 A = 100,000		D = 28,800 A = 36,000		D = 25,647 R = 45,000		D = 28,800 A = 36,000		D = 15,263		D = 13,204 R = 38,458		D = 4,726															
SOBREELEVAÇÃO	5,50%		4,00%		2,40%		2,66%		2,66%		2,66%		2,66%		2,66%													

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 10	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RAMO I	Data: JAN/2011	Folha: 10 / 13
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

PERFIL LONGITUDINAL RAMO II



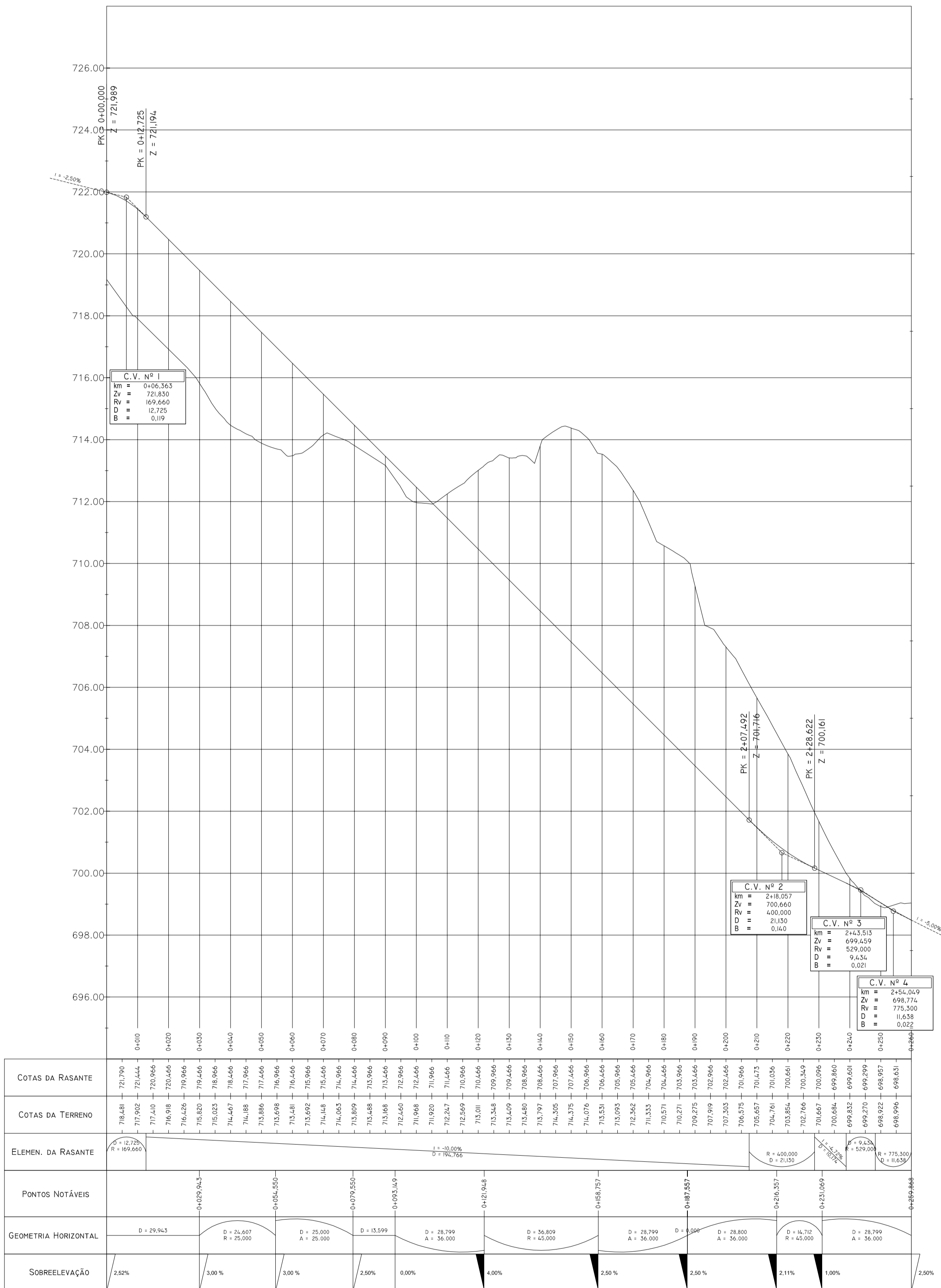
COTAS DA RASANTE	716,267 716,190 716,145 716,132 716,139 716,146 716,153 716,160 716,167 716,175 716,182 716,189 716,196 716,203 716,210 716,217 716,238 716,289 716,372 716,486 716,631 716,808 717,014 717,238 717,479 717,736 718,007 718,275 718,537 718,794
COTAS DA TERRENO	716,375 716,922 717,402 717,854 718,010 718,021 718,355 718,481 718,463 718,441 718,446 718,473 718,518 718,624 718,767 718,984 719,265 719,566 719,822 720,158 720,674 721,204 721,727 722,263 722,779 723,270 723,749 724,201 724,628 725,056
ELEMEN. DA RASANTE	R = 779,430 D = 20,591 i = 0,14% D = 59,794 R = 799,950 D = 32,030 R = 1507,954 D = 19,944 D = 21,835 R = 4661,500
PONTOS NOTÁVEIS	0+010,808 0+044,422 0+073,222 0+111,346 0+140,146 0+154,195
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 10,808 D = 33,613 R = 26,880 D = 28,800 A = 36,000 D = 38,125 R = 45,000 D = 28,800 A = 36,000 D = 14,049 A = 100,000
SOBREELEVAÇÃO	0,28% 2,50% 2,50% 3,00% 2,46% 4,55% 5,50%

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: II	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RAMO II	Data: JAN/2011	Folha: II / 13
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

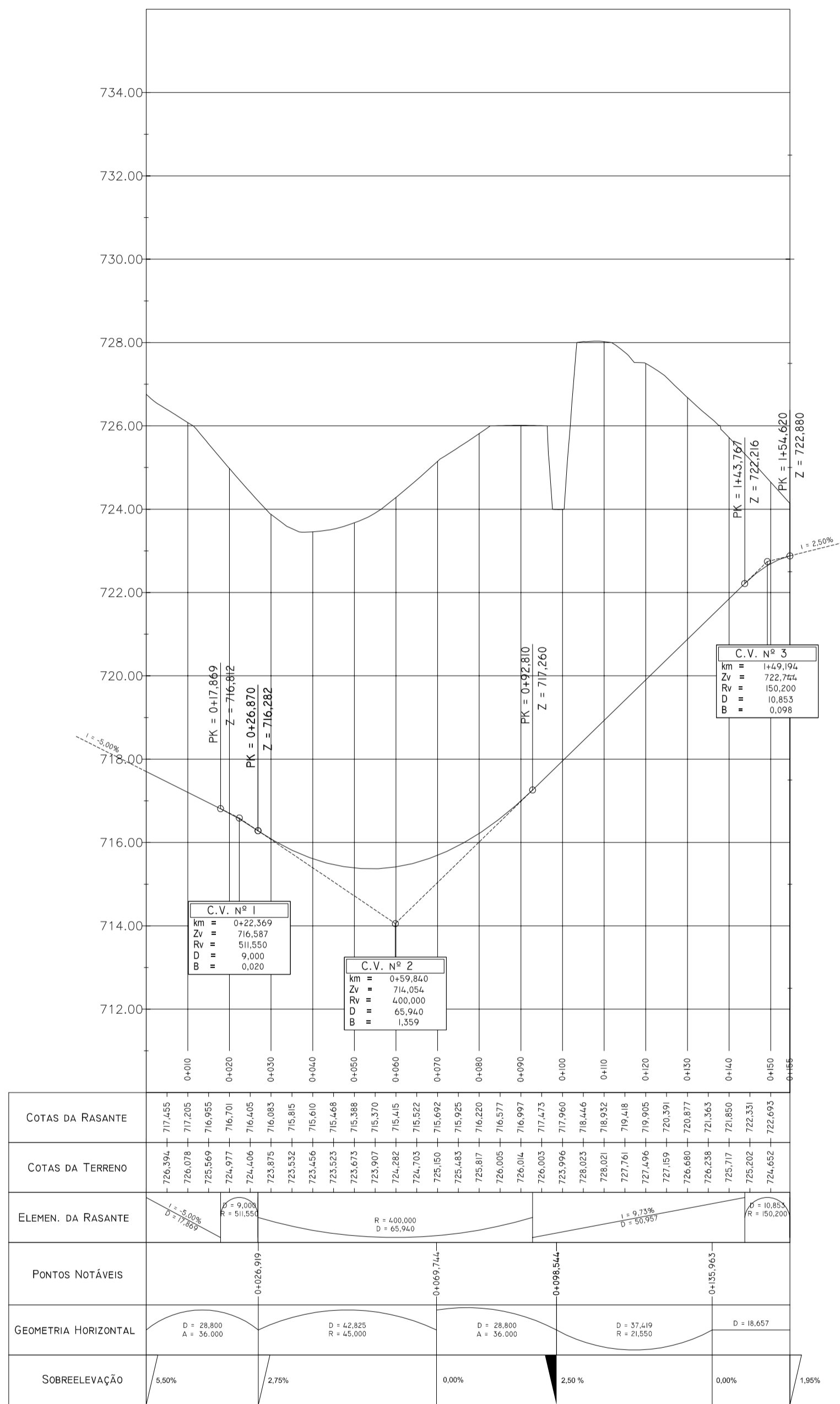
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PERFIL LONGITUDINAL RAMO III



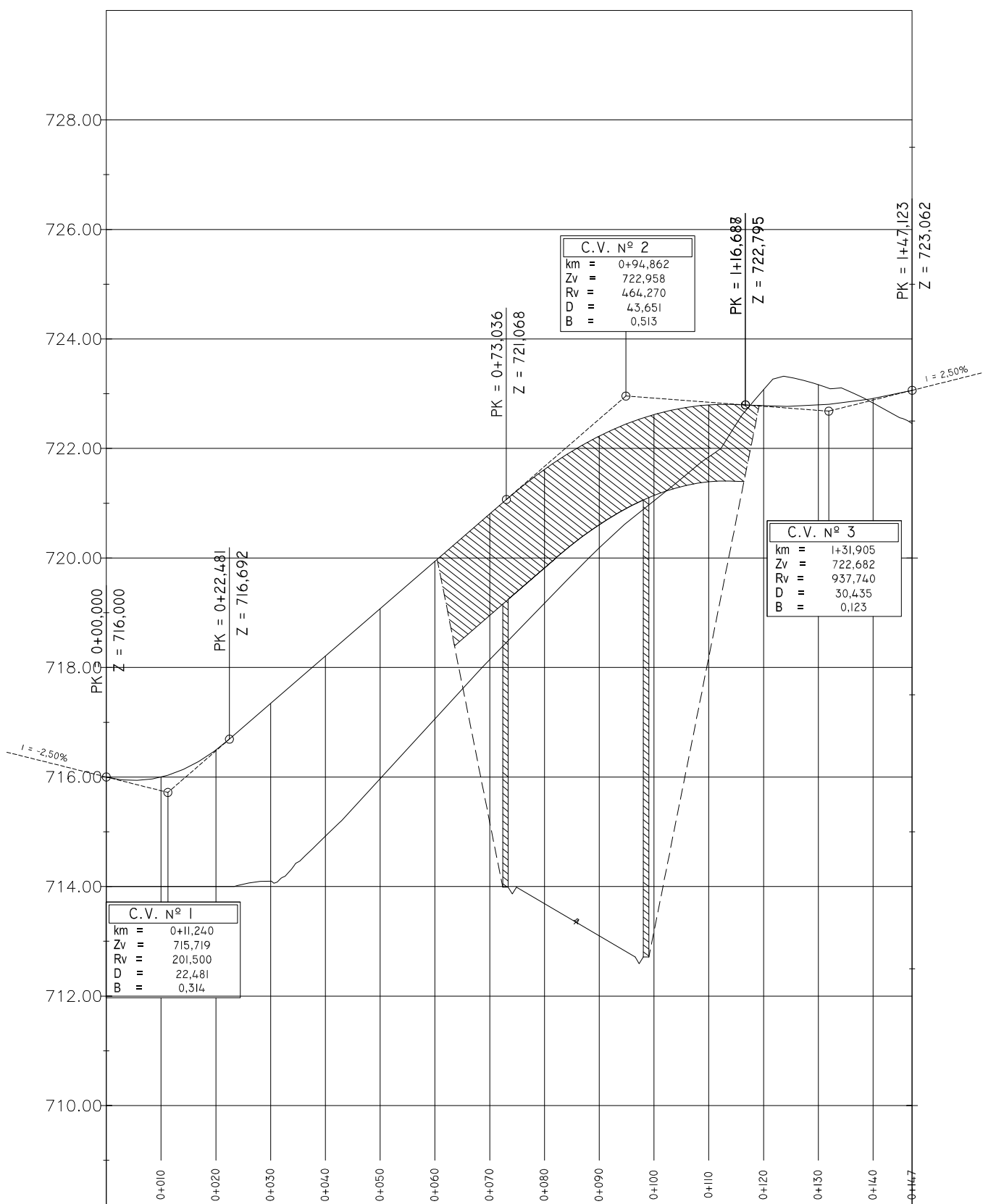
Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 12
Autor: PEDRO HAMEL COSTA Orientador: PROF. DR. JOAQUIM FRANÇA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RAMO III	Data: JAN/2011
		Folha: 12 / 13

PERFIL LONGITUDINAL RAMO IV



Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 13
Autor: PEDRO MANUEL COSTA Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RAMO IV	Data: JAN/2011
		Folha: 13 / 13

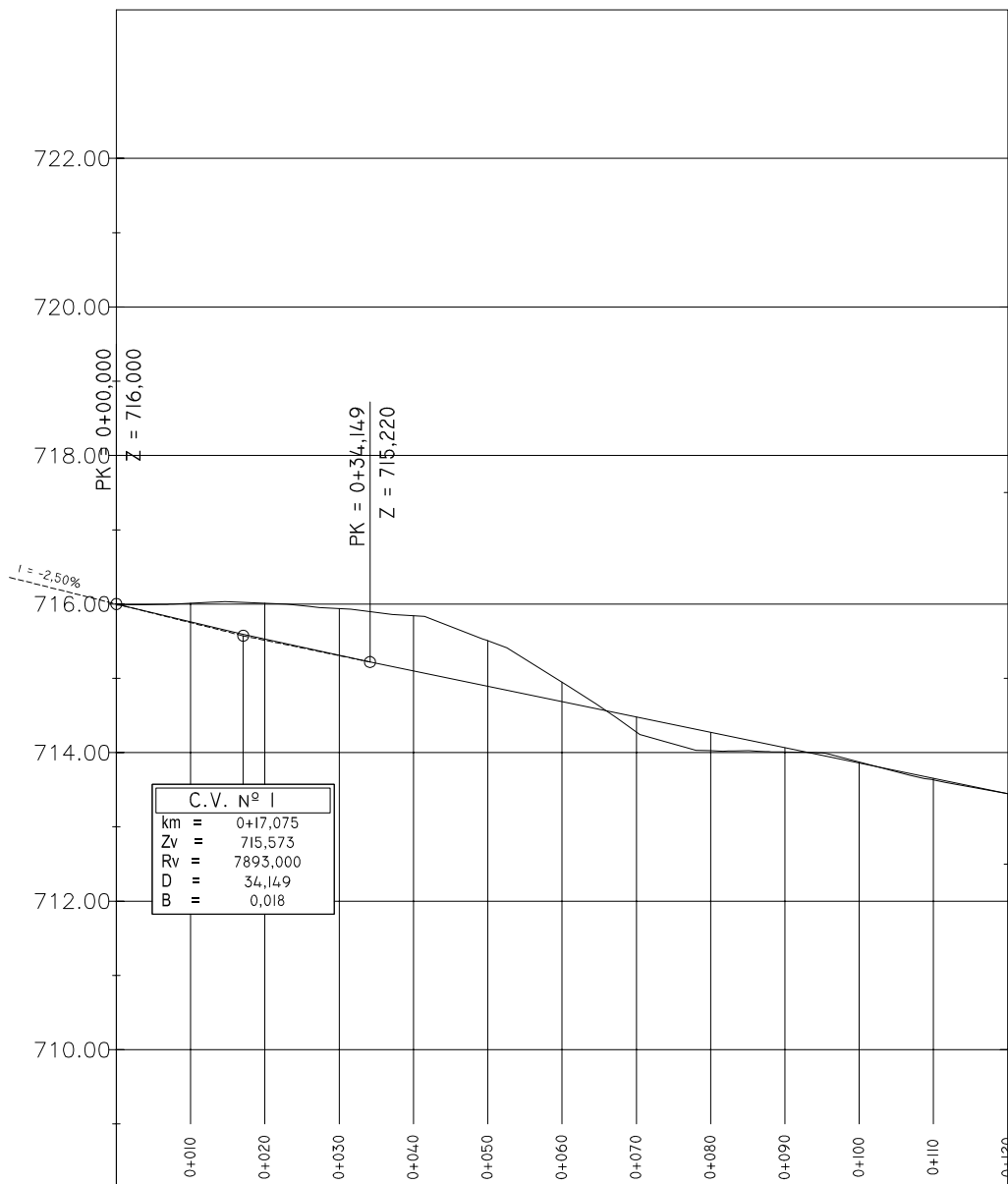
PERFIL LONGITUDINAL RESTABELECIMENTO I



COTAS DA RASANTE	715,937	715,998	716,183	716,493	716,910	717,343	717,776	718,209	718,641	719,074	719,507	719,940	720,373	720,806	721,234	721,619	721,950	722,227	722,450	722,620	722,735	722,797	722,805	722,776	722,770	722,790	722,837	722,911	723,011
COTAS DA TERRENO	714,000	714,000	714,000	714,000	714,043	714,099	714,446	714,920	715,424	715,970	716,515	717,060	717,606	718,143	718,658	719,173	719,687	720,186	720,643	721,044	721,448	721,846	722,447	723,074	723,294	723,165	723,072	722,829	722,558
ELEMEN. DA RASANTE	R = 201,500 D = 22,481		I = 8,66% D = 50,555										D = 43,651 R = 464,270		R = 937,740 D = 30,435														
PONTOS NOTÁVEIS	0+015,634		0+042,549										0+111,045		0+140,030														
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 15,634		D = 26,915 R = 56,861		D = 68,496										D = 28,985 R = 43,402		D = 7,092												
SOBREELEVAÇÃO	2,66%	2,50%	2,50%										2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,02%												

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 5	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RESTABELECIMENTO I	Data: JAN/2011	Folha: 5 / 13
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

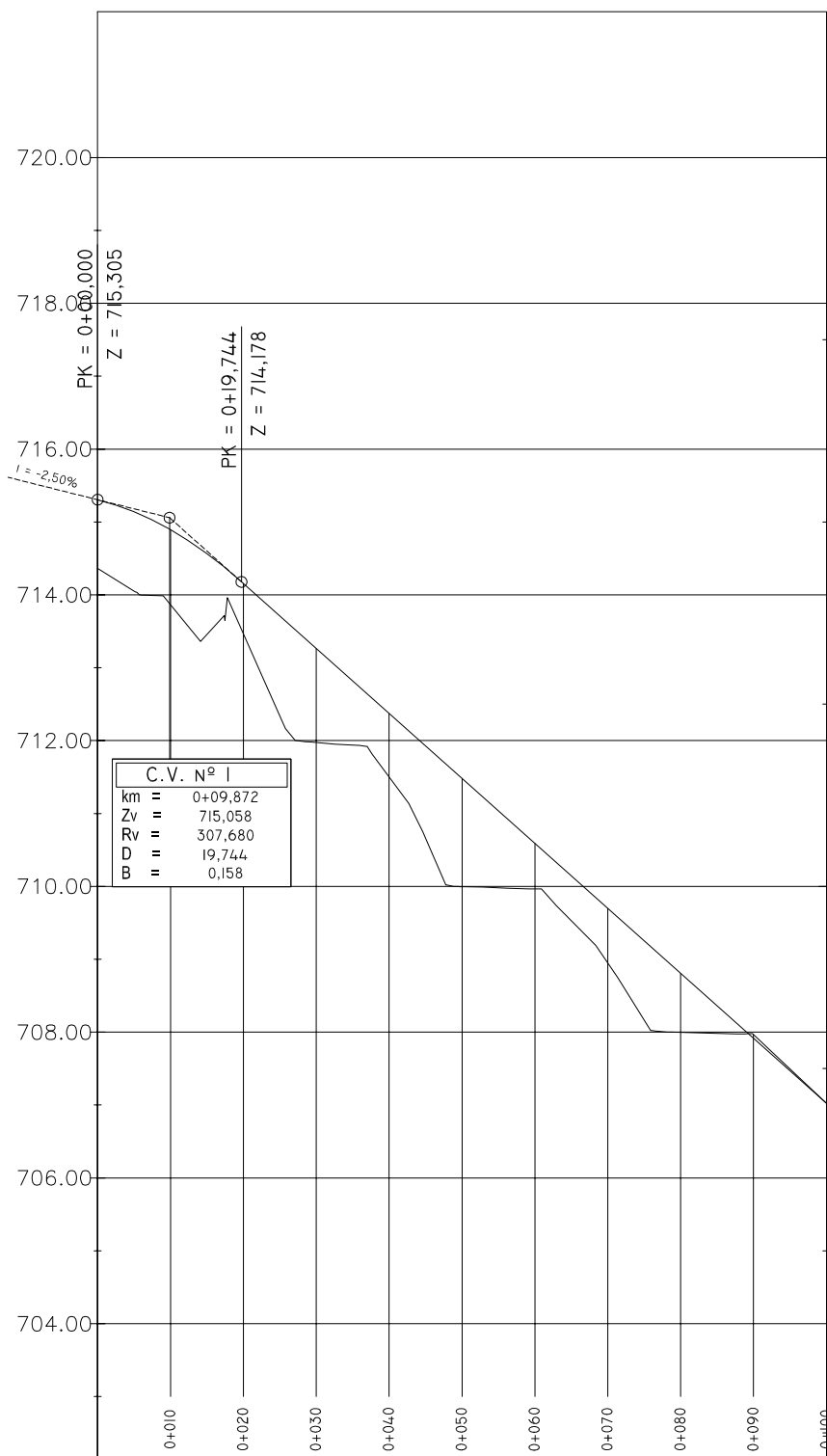
PERFIL LONGITUDINAL RESTABELECIMENTO 2



COTAS DA RASANTE	715,877	715,756	715,639	715,525	715,415	715,307	715,203	715,099	714,996	714,892	714,789	714,686	714,582	714,479	714,376	714,272	714,169	714,066	713,962	713,859	713,755	713,652	713,549
COTAS DA TERRENO	715,993	716,011	716,031	716,012	715,978	715,940	715,888	715,843	715,696	715,509	715,261	714,947	714,628	714,277	714,117	714,026	714,025	714,008	713,996	713,873	713,744	713,634	713,537
ELEMEN. DA RASANTE	D = 34,149 R = 7893,000						I = -2,07% D = 85,851																
PONTOS NOTÁVEIS												0+060,928											0+095,905
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 60,928											D = 34,977 R = 142,900					D = 24,095						
SOBREELEVAÇÃO	2,52%		2,52%													2,50%		2,50%		2,50%		2,50%	

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 6	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RESTABELECIMENTO 2	Data: JAN/2011	Folha: 6 / 13

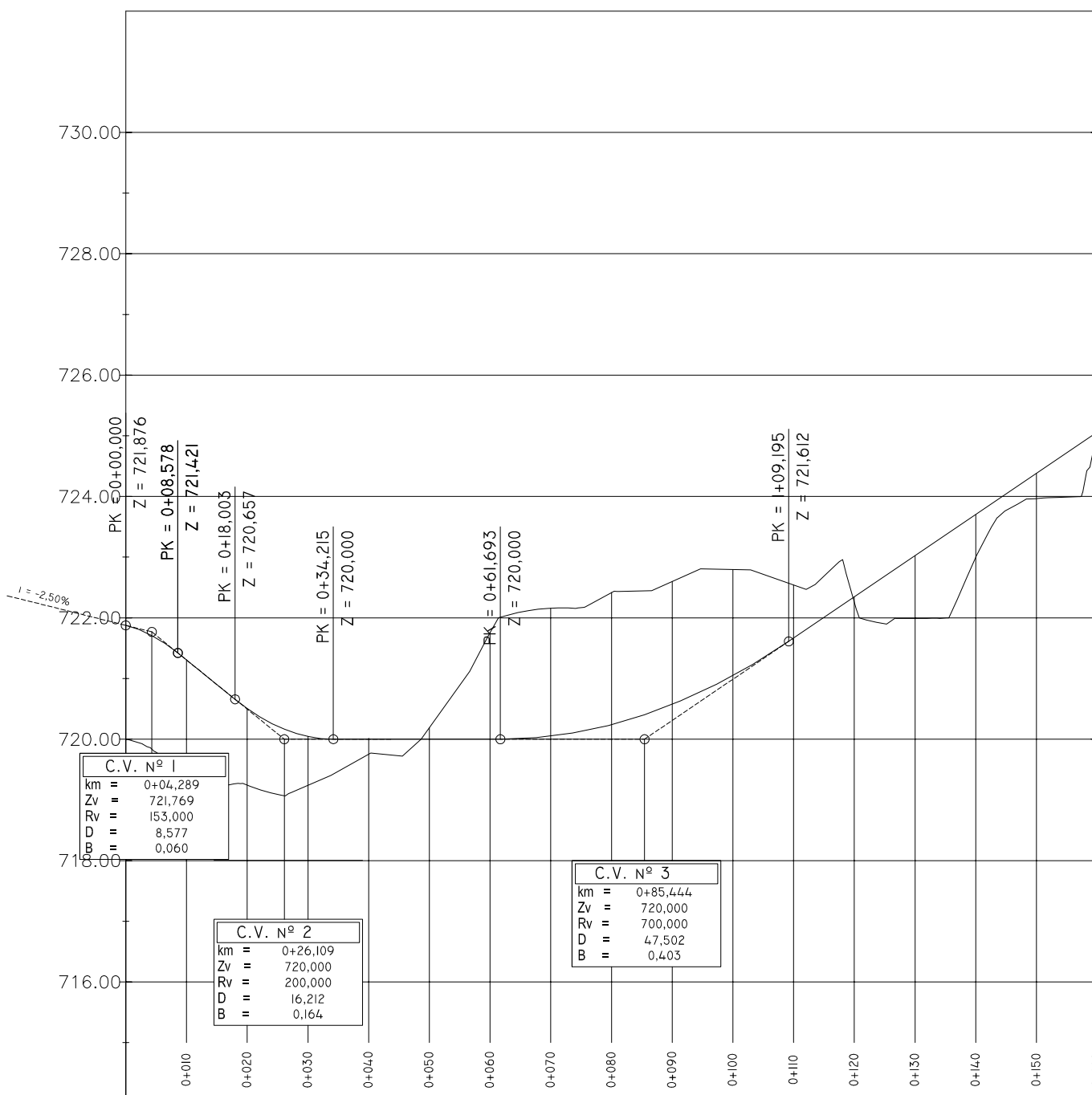
PERFIL LONGITUDINAL RESTABELECIMENTO 3



COTAS DA RASANTE	714,051 715,139 714,893 714,564 714,155 713,709 713,263 712,818 712,372 711,926 711,480 711,034 710,588 710,142 709,697 709,251 708,805 708,359 707,913 707,467 707,021
COTAS DA TERRENO	714,051 713,864 713,455 713,468 712,343 711,974 711,940 711,498 710,658 709,996 709,981 709,966 709,529 708,947 708,164 707,997 707,984 707,967 707,494 707,021
ELEMEN. DA RASANTE	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> $D = 19,744$ $R = 307,680$ </div> <div style="text-align: center;"> $i = -8,92\%$ $D = 80,256$ </div> </div>
PONTOS NOTÁVEIS	
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 100,000
SOBREELEVAÇÃO	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">2,52%</div> <div style="text-align: center;">2,50%</div> </div>

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 7	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RESTABELECIMENTO 3	Data: JAN/2011	Folha: 7 / 13

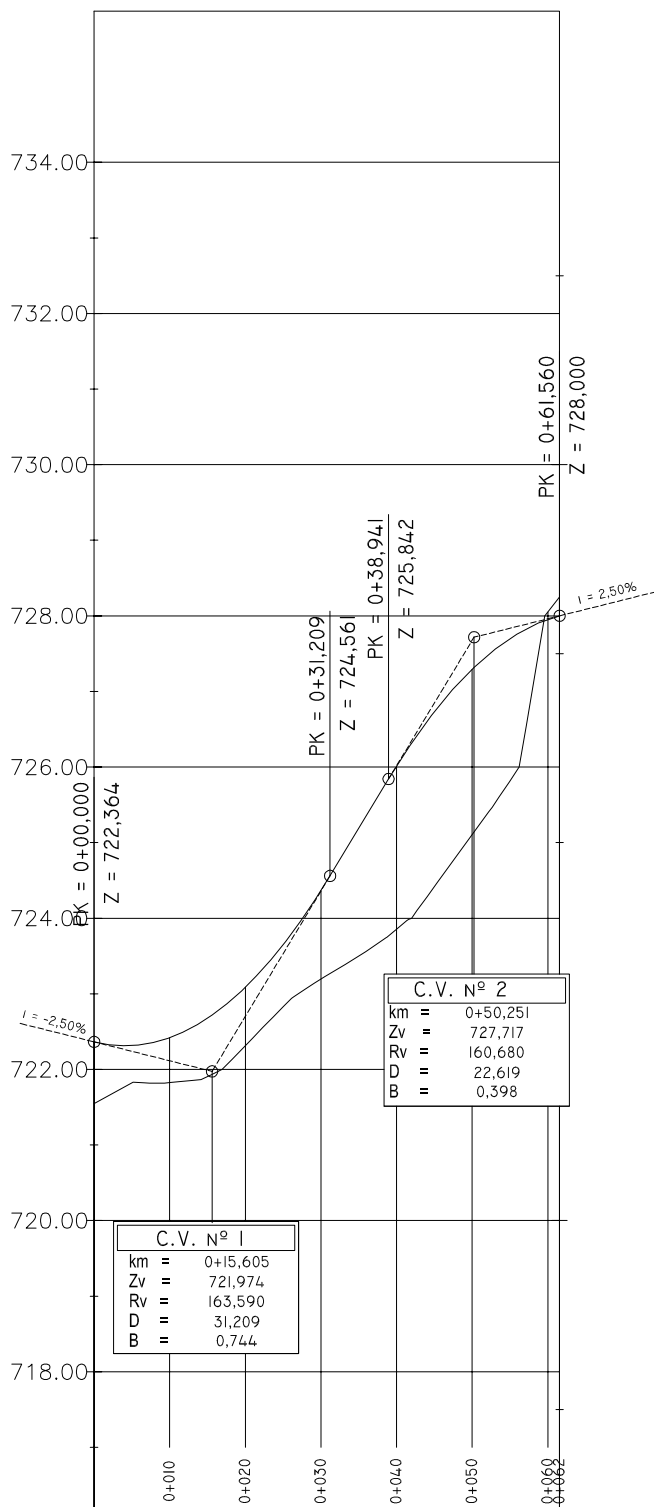
PERFIL LONGITUDINAL RESTABELECIMENTO 4



COTAS DA RASANTE	721,669	721,306	720,901	720,505	720,212	720,044	720,000	720,000	720,000	720,000	720,000	720,008	720,049	720,126	720,239	720,388	720,572	720,792	721,048	721,340	721,666	722,006	722,345	722,684	723,024	723,363	723,702	724,041	724,381	724,720	725,059	
COTAS DA TERRENO	719,785	719,483	719,218	719,243	719,091	719,240	719,474	719,751	719,728	720,191	720,888	721,759	722,093	722,159	722,168	722,417	722,444	722,599	722,808	722,796	722,716	722,541	722,687	722,251	721,902	721,989	721,997	722,998	723,771	723,964	723,990	725,059
ELEMEN. DA RASANTE	$\theta = 8,57\%$ $R = 153,000$		$i = -3,1\%$ $D = 9,125$		$R = 200,000$ $D = 16,212$		$i = 0,00\%$ $D = 27,478$				$R = 700,000$ $D = 47,502$				$i = 6,79\%$ $D = 50,805$																	
PONTOS NOTÁVEIS			0+015,529	0+027,239				0+059,690	0+074,496				0+16,990	0+153,561																		
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 15,529		D = 11,710 R = 38,114		D = 32,451		D = 14,806 R = 35,505		D = 42,494		D = 36,572 R = 36,714		D = 6,439																			
SOBREELEVAÇÃO	1,48%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%		

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 8	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RESTABELECIMENTO 4	Data: JAN/2011	Folha: 8 / 13
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

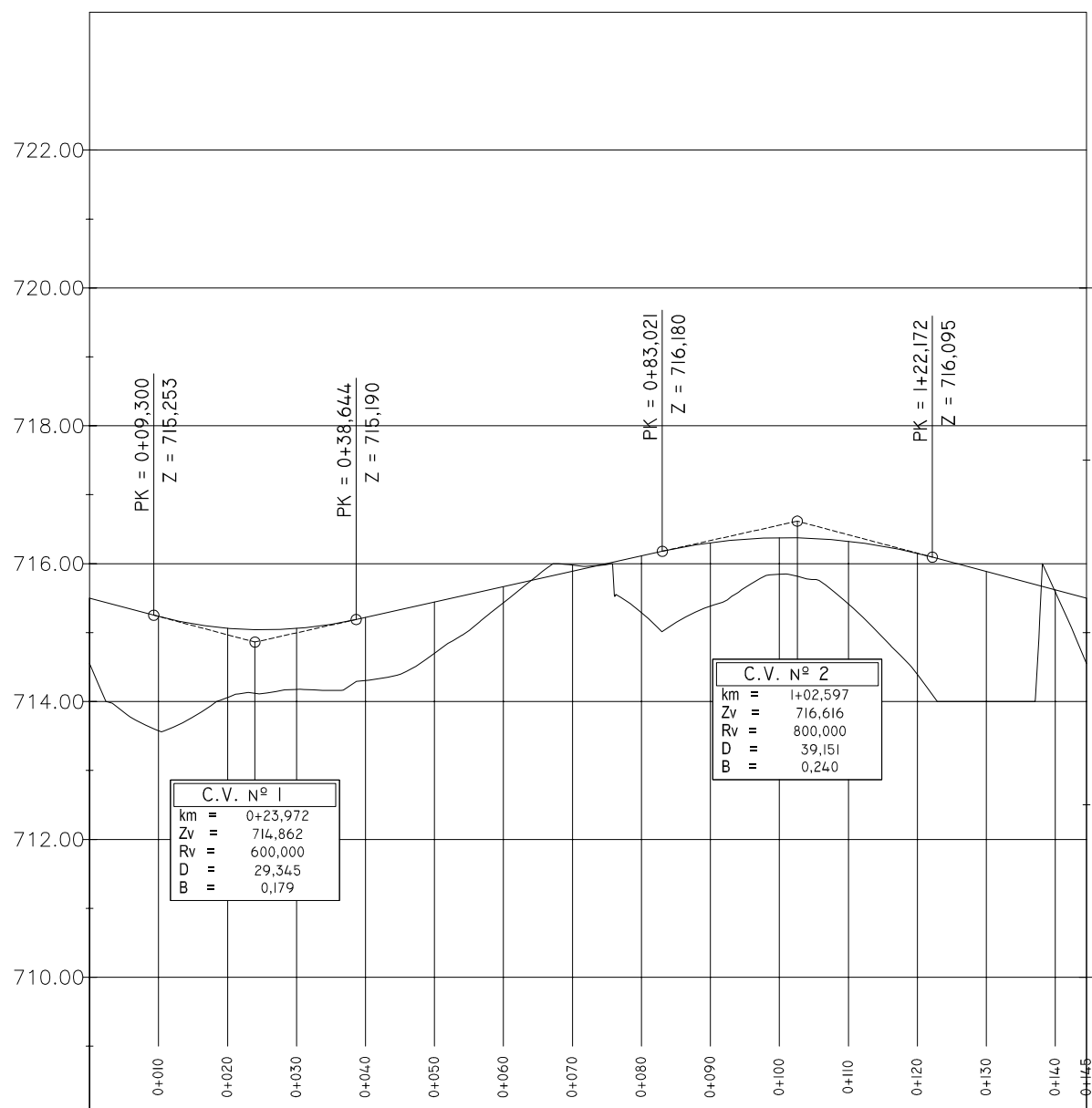
PERFIL LONGITUDINAL RESTABELECIMENTO 5



COTAS DA RASANTE	722,315	722,420	722,677	723,087	723,649	724,365	725,189	726,014	726,733	727,295	727,702	727,953
COTAS DA TERRENO	721,825	721,824	721,906	722,314	722,828	723,195	723,498	723,854	724,415	725,106	725,818	728,050
ELEMEN. DA RASANTE	R = 163,590 D = 31,209		D = 16,590 R = 7,302		D = 22,619 R = 160,680							
PONTOS NOTÁVEIS	0+007,302		0+031,881		0+054,919							
GEOMETRIA HORIZONTAL	D = 7,302		D = 24,579 R = 25,000		D = 9,000		D = 23,038 R = 25,000		D = 6,644			
SOBREELEVAÇÃO	1,95%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 9	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - RESTABELECIMENTO 5	Data: JAN/2011	Folha: 9 / 13
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			

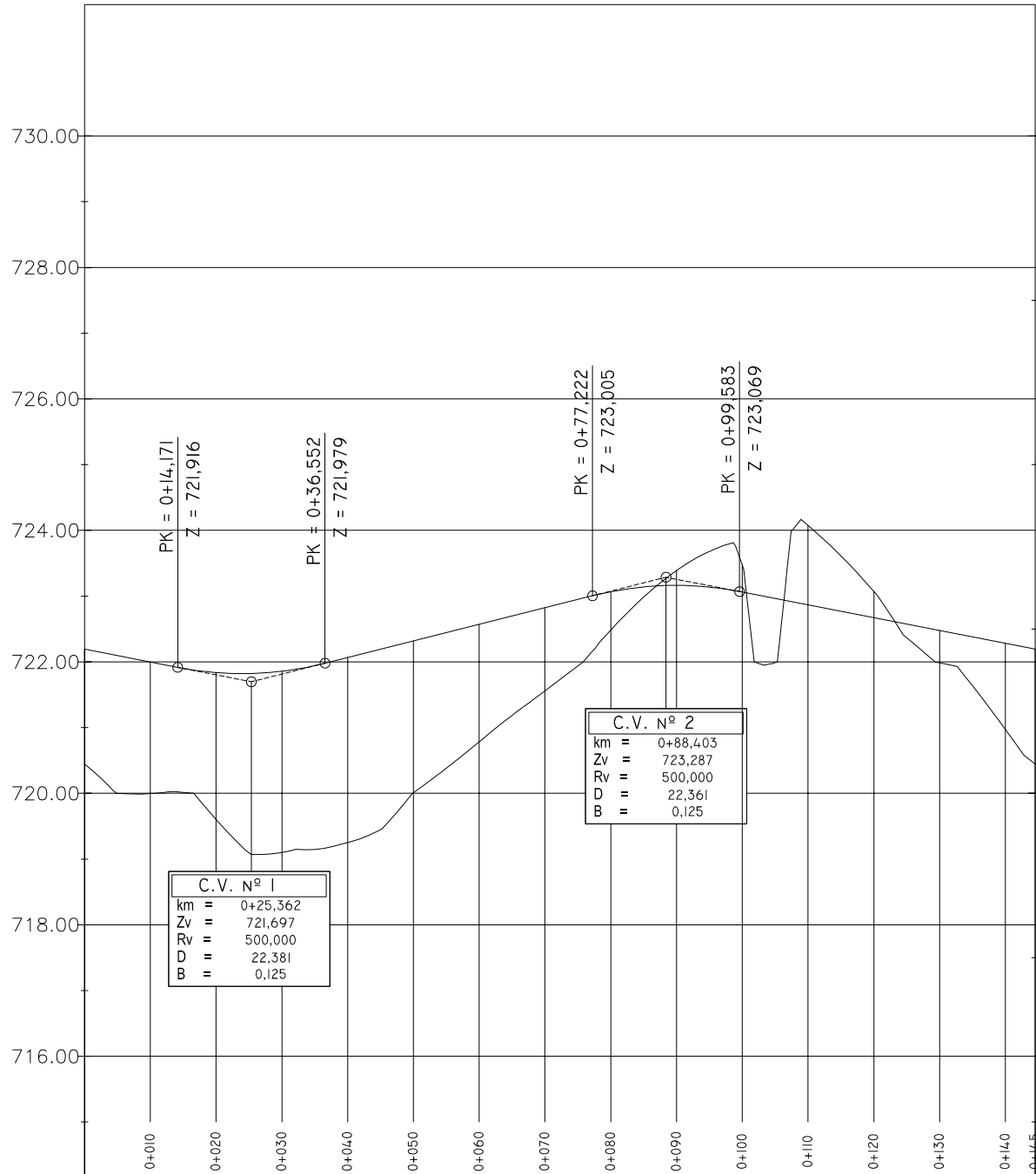
PERFIL LONGITUDINAL ROTUNDA A



COTAS DA RASANTE	715,367 715,234 715,128 715,063 715,040 715,059 715,119 715,220 715,331 715,443 715,555 715,666 715,778 715,889 716,001 716,112 716,221 716,305 716,357 716,378 716,368 716,327 716,254 716,150 716,020 715,887 715,753 715,620
COTAS DA TERRENO	713,841 713,577 713,775 714,059 714,116 714,176 714,162 714,304 714,393 714,700 715,029 715,434 715,836 715,980 715,988 715,291 715,145 715,386 715,649 715,848 715,771 715,417 714,927 714,393 714,000 714,000 714,000 715,590
ELEMEN. DA RASANTE	$i = -2,66\%$ $D = 22,341$ $R = 600,000$ $D = 29,345$ $i = 2,23\%$ $D = 144,513$ $D = 39,151$ $R = 800,000$ $i = -2,66\%$ $D = 22,341$
PONTOS NOTÁVEIS	
GEOMETRIA HORIZONTAL	$D = 144,513$
SOBREELEVAÇÃO	2,50 %

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 3	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - ROTUNDA A	Data: JAN/2011	Folha: 3 / 13

PERFIL LONGITUDINAL ROTUNDA B



COTAS DA RASANTE	722.095 721.997 721.900 721.836 721.822 721.857 721.943 722.066 722.193 722.319 722.445 722.571 722.697 722.823 722.949 723.068 723.141 723.164 723.138 723.061 722.964 722.866 722.769 722.671 722.574 722.476 722.379 722.281
COTAS DA TERRENO	719.999 719.996 720.015 719.603 719.094 719.100 719.147 719.252 719.449 720.009 720.383 720.786 721.185 721.560 721.939 722.484 722.985 723.389 723.680 723.472 721.989 724.076 723.611 723.074 722.367 721.986 721.639 720.971
ELEMEN. DA RASANTE	$i = -1,95\%$ $D = 14,171$ $R = 500,000$ $D = 22,361$ $i = 2,52\%$ $D = 40,669$ $D = 22,361$ $R = 500,000$ $i = -1,95\%$ $D = 44,930$
PONTOS NOTÁVEIS	
GEOMETRIA HORIZONTAL	$D = 144,513$
SOBREELEVAÇÃO	2,50 %

Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE	Desenho n.º: 4	
Autor: PEDRO MANUEL COSTA	Designação Complementar: PERFIL LONGITUDINAL - ROTUNDA B	Data: JAN/2011	Folha: 4 / 13
Orientador: PROF. DR. ADALBERTO FRANÇA			



Estado:	1:1000	Designação:	PROJECTO DE EXECUÇÃO GEOMÉTRICO DE UM NÓ EM DIAMANTE
Nome:	AutoCAD	Designação Complementar:	PLANTA GERAL
AutoCAD:	AutoCAD	Desenho n.º:	1 / 13
AutoCAD:	AutoCAD	Data:	JAN/2011