



# Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo

Marco Daniel Duarte Rocha Pinto

Projeto para Obtenção de Grau de Mestre

Orientadora: Professora Maria de Fátima Guimarães Faria Portela Moreira

ISEP - Outubro de 2014





“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece.” (Benjamin Disraeli)



## **Agradecimentos**

Muitas foram as pessoas que apoiaram ao longo do meu percurso académico e a quem devo agradecimentos pela ajuda que me deram na superação das dificuldades enfrentadas. A amizade e o profissionalismo foram, e continuarão a ser, fatores relevantes para o sucesso e concretização dos meus objetivos de vida.

A elaboração deste projeto, foi um componente da minha aprendizagem, no culminar do Mestrado em Engenharia Civil. Como autor deste trabalho, não podia deixar de agradecer especialmente a todos aqueles que me acompanharam, me ajudaram e me incentivaram ao longo de todo o meu percurso.

Em primeiro lugar, começo por agradecer à Professora Maria de Fátima Guimarães Faria Portela Moreira, pelo empenho, rigor e disponibilidade com que sempre me orientou ao longo da elaboração deste projeto.

Agradeço a todos os professores das unidades curriculares de Vias de Comunicação e de Infraestruturas de Transporte pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço também à Auto-Estradas XXI Transmontana, em especial ao Engenheiro Pedro Araújo na ajuda e disponibilidade pelos documentos fornecidos.

Um muito obrigado ao meu amigo de curso, André Lopes pelos momentos de estudo durante a escalada do curso. Um obrigado também aos meus colegas destes últimos anos, Tânia Almeida, Ricardo Pereira e Paulo Ferreira.

Um agradecimento muito, muito especial à minha namorada Ana Rita Teixeira, pela compreensão demonstrada nos momentos mais difíceis, pelo carinho, ajuda e força transmitida e por todos os conselhos na realização deste projeto.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer muito aos meus pais, avós e irmã, porque sem eles nada disto seria possível. Os conselhos transmitidos fazem de mim a pessoa que sou hoje, pelo carinho, apoio e felicidade concebida ao longo destes anos. Para eles, o meu profundo obrigado.

## **Resumo**

O presente trabalho visa, o estudo e a elaboração de um projeto de execução de um Nó de Ligação em trevo completo.

O projeto requer um estudo cuidado da geometria das estradas principais existentes, das características do terreno e de todas as restantes condicionantes que se impõe à realização do mesmo. Esta fase do projeto é decisiva para o desenvolvimento e o sucesso do projeto, nos diversos aspetos técnicos, económicos e ambientais relacionados.

Após o enquadramento do nó de ligação em trevo no terreno, procedeu-se à localização dos quatro ramos de ligação direta, ao seu traçado geométrico e as ligações às estradas principais. Seguidamente, realizou-se o traçado de todos os restabelecimentos necessários para a circulação nas vias pré-existentes e o seu acesso ao nó.

Este trabalho foi realizado aplicando todos os conhecimentos adquiridos na Licenciatura em Engenharia Civil e no Mestrado em Engenharia Civil no Ramo das Infraestruturas e Ambiente no ISEP, com especial importância em Vias de Comunicação e Infraestruturas de Transportes.

Todos os procedimentos de definição geométrica e analítica do nó de ligação em trevo foram realizados recorrendo ao programa para computador “AutoCAD Civil 2013”.

**PALAVRAS-CHAVE:** Projeto; Nó em Trevo Completo; Ramos de Ligação; Restabelecimentos.



## **Abstract**

The present work aims to study and elaborate the execution project of a connection node in full clover leaf.

Such project requires careful study of the geometry of the existing main roads, the land characteristics and all the other conditions that require the accomplishment of the same. This is a critical stage for the development and success of the project in various technical, economic and environmental aspects related.

After framing on the ground the connection node in full clover leaf, proceeded to the location of the four branches that make a direct connection to their geometrical layout and the links to major roads. Then, there was the stroke of all restatements needed for running on pre-existing roads and their access to the node.

This work was accomplished by applying all the knowledge acquired in the Bachelor of Civil Engineering and Master of Engineering in Civil Branch of Infrastructure and Environment in ISEP, with special importance on Roads and Transport Infrastructure.

All geometric and analytical procedures of the full clover leaf node, were performed applying the "AutoCAD Civil 2013" computer software.

**KEYWORDS:** Project; Full Clover Leaf Node; Connect branches; Reconnections.



## Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	vi
1 Introdução.....	1
1.1 Vias de Comunicação.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Estrutura do Projeto.....	2
2 Caracterização do Concelho.....	3
2.1 Localização geográfica.....	3
2.2 Caracterização Demográfica.....	4
2.3 Freguesia do Pópulo.....	5
2.4 Evolução da População.....	7
3 Elementos necessários para um projeto de um nó de ligação.....	9
3.1 Generalidades.....	9
3.2 Tráfego.....	9
3.2.1 Velocidade.....	10
3.2.2 Faixa de rodagem.....	10
3.3 Segurança.....	10
3.4 Meio Ambiente.....	11
4 Enquadramento e Normas.....	13
4.1 Introdução.....	13
4.1.1 Interseções de Nível.....	13
4.1.2 Interseções Desniveladas.....	13

4.1.3	Nós de Ligação.....	14
4.2	Enquadramento.....	18
4.3	Condicionantes Impostas Nas Normas .....	21
4.3.1	Determinação do Traçado em Planta.....	21
4.3.2	Condicionantes Impostas do Traçado Longitudinal.....	26
4.3.3	Condicionantes dos Nós de Ligação .....	28
5	Nó do Pópulo – Existente.....	33
5.1	Considerações Gerais.....	33
5.2	Ramos do Nó .....	34
5.2.1	Descrição geral.....	34
5.2.2	Perfis Transversais Tipo .....	35
5.2.3	Características geométricas .....	36
5.2.4	Vias de Aceleração e de Desaceleração.....	36
6	Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Trevo Completo .....	37
6.1	Introdução .....	37
6.2	Condicionantes do Projeto .....	38
6.2.1	Ligações à Rede Local.....	38
6.2.2	Obra de Arte.....	38
6.2.3	Número de Vias .....	39
6.3	Traçado em Planta.....	39
6.3.1	Estrada Principal.....	39
6.3.2	Ramo A .....	40
6.4	Perfil Longitudinal.....	44
6.4.1	Particularidades Teóricas dos Ramos .....	44
6.4.2	Trainéis.....	44
6.4.3	Definição dos Elementos Característicos dos Ramos.....	44
6.5	Perfil Transversal.....	46

6.5.1	Ramo A .....	46
7	Conclusão.....	49
7.1	Considerações Finais .....	49
7.2	Desenvolvimentos Futuros .....	49
8	Bibliografia.....	51



## Índice de Anexos

Anexos.....	I
Anexo 1.....	III
1. Pormenores de Cálculo	
1.1. Dimensionamento.....	V
1.2. Piquetagem.....	XV
1.3. Traçado em Planta.....	XVIII
1.4. Perfis Longitudinais.....	XXI
1.5. Perfis Transversais.....	XXVII
Anexo 2.....	XXIX
1. Planta Topográfica.....	XXXI
2. Planta de Implantação.....	XXXIII
3. Planta A4/IP4.....	XXXV
4. Perfis Longitudinais.....	XXXVII
5. Perfis Transversais.....	XLVII



## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Enquadramento do Concelho de Alijó na Região Norte. (Narciso 2010).....	3
Figura 2.2 - Confrontações do Concelho de Alijó. (Narciso 2010).....	3
Figura 2.3 - Mapa de freguesias do Concelho de Alijó. (Alijó).....	4
Figura 2.4 - Localização do Pópulo no Concelho de Alijó. (Narciso 2010).....	6
Figura 4.1 - Exemplo de Nó em Trompete (Goohle Maps, 2014).....	15
Figura 4.2 - Exemplo de Nó em Diamante com rotundas (Google Maps, 2014).....	16
Figura 4.3 - Exemplo de Nó em Meio Trevo Incompleto (Google Maps, 2014).....	16
Figura 4.4 - Exemplo de Nó em Meio Trevo Completo (Google Maps, 2014).....	17
Figura 4.5 - Exemplo de Nó em Trevo Completo (Google Maps, 2014).....	18
Figura 4.6 - Planta Topográfica da Zona em Análise. (Costa and Neves 2010).....	18
Figura 4.7 - Ligação existente na zona do Pópulo. (Costa and Neves 2010).....	19
Figura 4.8 - Quadrante I e II.....	20
Figura 4.9 - Quadrante III e IV.....	20
Figura 4.10 - Planta do Laço do IP4 com o prolongamento do IC5. (Costa and Neves 2010).....	21
Figura 4.11 - Combinação de Raio Desejável (Estradas 1993).....	22
Figura 4.12 - Representação esquemática da clotóide (Miranda 2013).....	25
Figura 4.13 - Concordância vertical entre dois traneis (Coelho 2012).....	27
Figura 4.14 - Velocidades adotar nos ramos de ligação (Miranda 2013).....	29
Figura 4.15 - Largura da faixa de rodagem e das bermas da direita e esquerda em ramos unidirecionais. (Miranda 2013).....	31
Figura 5.1 - Passagem Superior do ramo bidirecional e da interseção da A4/IP4, respetivamente. ....	33
Figura 5.2 - Interseção da A4/IP4 com o IC5.....	33
Figura 5.3 - Ramos de Ligação do Nó em duplo Trompete.....	35
Figura 6.1 - Designação dos ramos utilizados.....	38
Figura 6.2 - Planta de implantação do Ramo A.....	40

Figura 6.3 - Curva Composta .....	42
Figura 6.4 - Concordância a passar em três pontos. ....	44
Figura 6.5 - Perfil Longitudinal do Ramo A.....	46
Figura 6.6 - Perfil Transversal do Ramo A.....	47

## Índice de Tabelas

Tabela 2.2 - Evolução da População entre 1864 e 2001.....	7
Tabela 2.3 - Evolução da População de 1991 a 2001. (Narciso 2010).....	8
Tabela 3.1 - Trafego Médio Diário Mensal A4 (Porto - Quintanilha) em 2012. (Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias).....	10
Tabela 4.1 – Raios Mínimos Absolutos e Raios Mínimos Normais.....	23
Tabela 4.2 - Raios Mínimos Absolutos e Raios Mínimos Normais. (Pereira, 2014).....	23
Tabela 4.3 - Sobreelevação em curva circular.....	24
Tabela 4.4 - Inclinação máxima dos traneis (Estradas 1993).....	26
Tabela 4.5 - Extensão crítica dos traneis (Estradas 1993).....	27
Tabela 4.6 - Raio e Desenvolvimento mínimo para concordâncias convexas (Miranda 2013).....	28
Tabela 4.7 - Raio e Desenvolvimento mínimos para concordâncias côncavas (Miranda 2013).....	28
Tabela 4.8 - Distância de visibilidade em função da velocidade (Miranda 2013).....	29
Tabela 4.9 - Raio mínimo, Extensão mínima da transição, extensão mínima das curvas circulares e parâmetro da clotóide para uma Velocidade específica ( $V_e$ ) (Miranda 2013).....	30
Tabela 4.10 - Sobrelargura em função do raio da curva circular (Coelho 2012).....	30
Tabela 4.11 - Sobreelevação dos ramos de ligação (Miranda 2013).....	31
Tabela 4.12 - Limites da variação da sobreelevação nas curvas dos ramos de ligação (Miranda 2013).....	32
Tabela 4.13 - Diferença máxima entre inclinações da estrada principal e de um ramo de ligação (Miranda 2013).....	32
Tabela 5.1 - Características do Nó do Pópulo (Costa and Neves 2010).....	36
Tabela 6.1 – Piquetagem Ramo A.....	42
Tabela 6.2 - Dados Ramo A.....	43
Tabela 6.3 – Dados Ramo A.....	45

**Índice de Equações**

(1) .....	22
(2).....	23
(3).....	24
(4).....	25
(5).....	25
(6).....	25
(7).....	25
(8) .....	26
(9).....	26
(10).....	26
(11).....	26
(12).....	26
(13).....	27
(14) .....	27
(15).....	43
(16).....	43
(17).....	43
(18).....	43
(19).....	43
(20).....	45

### Índice de Abreviaturas

NUT	Nomenclatura das Unidades Territoriais;
TCAM	Taxa de Crescimento Anual Média;
TCE	Taxa de Crescimento Efetiva;
A4	Auto Estrada Transmontana;
IP4	Itinerário Principal do Norte;
IC5	Itinerário Complementar;
Km	Quilómetro;
m	Metro;
Vb	Velocidade Base;
Vt	Velocidade Tráfego;
Ve	Velocidade Específica;
RA	Raio Absoluto;
RN	Raio Normal;
Sl	Sobrelargura;
Se	Sobreelevação;
R	Raio da Curva Circular;
A	Parâmetro da Clotóide;
L	Extensão da Clotóide;
$\Delta R$	Ripagem;
C	Centro da Curva Circular;
T	Ângulo que a tangente à curva faz com o alinhamento reto;
$i_{curva}$	Inclinação da curva;
D	Desenvolvimento da curva;
$I_1$	Inclinação do tranel;
$I_2$	Inclinação do tranel;
PS	Passagem Superior;

PI	Passagem Inferior;
EP	Estradas de Portugal;
JAЕ	Junta Autónoma das Estradas;
EN15	Estrada Nacional de Portugal;
A24	Auto Estrada do Interior Norte;
J	Sobreaceleração normal;
$\Omega$	Ângulo dos alinhamentos retos;
$R_{\min}$	Raio Mínimo;
C.N.	Curva de Nivel.



## **1 Introdução**

### **1.1 Vias de Comunicação**

A principal finalidade dos transportes é promover um papel fundamental no desenvolvimento económico de um país ou de uma região, tornando os trajetos mais rápidos e seguros. Com a criação e o desenvolvimento de grandes núcleos, a deslocação, de bens ou de pessoas, torna-se uma peça fundamental no desenvolvimento humano e, assim, movimenta a economia e assume a sua importância. O resultado da conceção das grandes obras, além de diminuir deslocações mais longas, aumentar a rapidez e percorrer grandes distâncias a baixo custo, possibilita uma agilização e escoamento do tráfego nas grandes cidades de uma forma segura e eficiente. A aplicação geométrica das vias de comunicação tende a ser cada vez mais organizada e limitada na procura de uma conjugação perfeita entre eficiência, conforto, segurança e custos reduzidos. Para além destes pontos e tendo em conta os impactos ambientais, a geometria do traçado é cada vez mais condicionada.

Vantagens das vias de comunicação:

- Maior mobilidade e flexibilidade nos itinerários;
- Rede intensamente ramificada permitindo o transporte porta a porta sem a necessidade de transbordo;
- Transporte mais prático para curtas e médias distâncias;
- A rede de auto-estradas proporciona uma maior rapidez na deslocação;

Um Projeto de um Nó de Ligação insere-se no contexto das vias de comunicação. Entende-se por nó de ligação um conjunto de ramos que permite a ligação entre estradas a níveis diferentes, de modo a eliminar os pontos de conflito. O presente trabalho tem por base a elaboração de um projeto de execução geométrico de um nó rodoviário em trevo completo, em contraproposta ao nó de ligação já existente em duplo trompete. Este nó de ligação é designado por Nó do Pópulo, e situado no concelho de Alijó, distrito de Vila Real.

### **1.2 Objetivos**

Este projeto tem como finalidade a apresentação de uma nova proposta de um nó de ligação.

A proposta do nó de ligação do Pópulo tem como principais objetivos:

- Simplificar a interseção entre duas auto-estradas transmontanas, A4/IP4 com o IC5;
- Permitir uma fácil e rápida acessibilidade dos utentes, assim como para as populações residentes locais às suas origens;
- Efetuar um enquadramento económico-social;

- Contornar todos os fatores condicionantes, como a topografia e a ocupação do solo, para que a solução final seja a mais económica e segura possível;
- Comparar a nova proposta em trevo completo com a situação existente em duplo trompette.

Ao longo deste projeto, serão apresentadas as fases de dimensionamento como pormenores de cálculo (Anexo 1), desenhos da planta do projeto, peças desenhadas dos diversos ramos do nó de ligação, perfis longitudinais e transversais (Anexo 2).

### **1.3 Estrutura do Projeto**

A estrutura deste projeto está disposta em sete capítulos principais seguidos de anexos contendo os pormenores de cálculo e as plantas do projeto.

O primeiro capítulo tem como objetivo o estudo do enquadramento do tema, apresentando a relevância dos nós de ligação.

O segundo capítulo apresenta a localização geográfica do Concelho, a caracterização demográfica e a evolução da População.

O terceiro capítulo faz referência aos elementos necessários para um projeto de um nó de ligação.

É necessário ter presente as normas em vigor para este tipo de nó de ligação, assim como a topografia e a ocupação do solo.

O quarto capítulo faz referência às normas utilizadas nos nós de ligação, definição dos principais nós de ligação, bem como a sua avaliação, as vantagens e desvantagens.

O quinto capítulo apresenta a memória descritiva do projeto de execução atual, sendo feita uma referência à descrição geral dos ramos do nó, dos perfis transversais tipo, características geométricas e vias de aceleração e desaceleração.

No sexto capítulo é apresentado o método de cálculo e os resultados efetuados para a definição dos vários elementos constituintes do projeto em questão.

O sétimo capítulo apresenta a conclusão sobre o trabalho realizado, onde será efetuada uma análise comparativa entre a proposta existente e o projeto da nova proposta.

O presente projeto é ainda constituído por anexos que incluem os cálculos mais detalhados não referidos no sexto capítulo, de modo a não dificultar a análise fluente do mesmo e os principais desenhos do projeto.



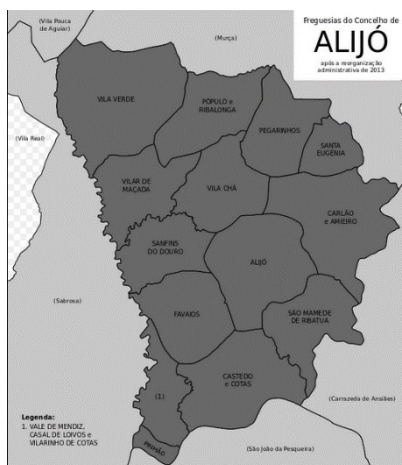


Figura 2.3 - Mapa de freguesias do Concelho de Alijó.  
(Alijó)

## 2.2 Caracterização Demográfica

Para a definição de um plano de desenvolvimento integrado, é necessário construir um contexto que permita compreender e perceber melhor alguns aspetos mais específicos que caracterizam o concelho.

A análise da população é inevitavelmente um fator indispensável na avaliação do desenvolvimento social e económico, constituindo o resultado de numerosos fatores: políticos; culturais; sociais e económicos.

O quadro 1, subdividido por freguesias, permite perceber algumas características do Concelho, nomeadamente, o número de habitantes, o número de alojamentos, familiares e coletivos, a área e a densidade populacional.

Quadro 2.1 - Caracterização do Concelho. (Narciso 2010)

<b>Freguesia</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade Populacional (Hab/Km<sup>2</sup>)</b>
<b>Alijó</b>	2806	29,36	95,56
<b>Carlão e Amieiro</b>	990	33,02	49,46
<b>Castedo e Cotas</b>	768	28,86	54,48
<b>Favaios</b>	1312	21,45	61,17
<b>Pegarinhos</b>	575	18,79	30,61
<b>Pinhão</b>	829	3,00	275,96
<b>Pópulo e Ribalonga</b>	627	21,33	59,42
<b>Sanfins do Douro</b>	1763	17,09	103,15
<b>Santa Eugénia</b>	411	9,12	45,08
<b>São Mamede da Ribatua</b>	905	20,12	44,99
<b>Vale de Mendiz, Casal de Loivos e Vilarinho de Cotas</b>	675	12,95	162,38
<b>Vila Chã</b>	579	20,23	28,62
<b>Vila Verde</b>	844	41,99	20,10
<b>Vilar de Maçada</b>	1236	20,19	61,20

### **2.3 Freguesia do Pópulo**

A freguesia do Pópulo, sendo uma das freguesias mais antiga formação do Concelho de Alijó, tem como povoações: Casas da Estrada, Cal de Bois e Vale de Cunho.

A palavra Pópulo de acordo com (Narciso 2010) vem do latim “Populum” e é a freguesia de entrada no concelho e faz fronteira com os Concelhos de Murça, Vila Pouca de Aguiar, sendo que até 2 de Outubro de 1853, pertenceu ao Concelho de Murça, ficando, após esta data, ligado ao Concelho de Alijó.

O Nó de Ligação em estudo encontra-se situado na freguesia do Pópulo, sendo designado por Nó de Pópulo.

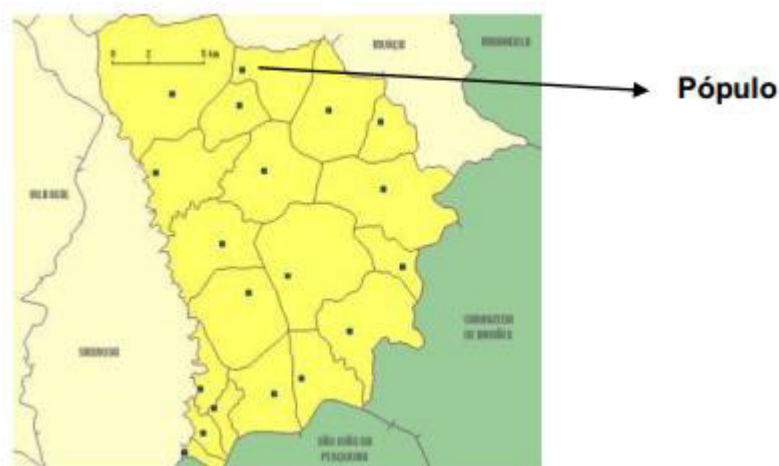


Figura 2.4 - Localização do Pópulo no Concelho de Alijó. (Narciso 2010)

#### **2.4 Enquadramento Geográfico IP4 (A4) com IC5**

A A4 é uma auto-estrada transmontana que liga atualmente Matosinhos a Amarante e Vila Real a Quintanilha. Integra o Itinerário Principal número 4 e a Estrada Europeia E82. É atualmente a ligação mais importante ao interior a Norte do Rio Douro, estabelecendo a ligação entre Porto e Amarante numa extensão de 63km, e de Vila Real a Quintanilha numa extensão de 134km.

Esta auto-estrada tem início em Matosinhos, prolonga-se por Águas Santas, Ermesinde e Valongo até ao Vale do Sousa. De Paredes rumo a Penafiel e termina um pouco à frente nas margens do Rio Tâmega, em Amarante. É retomada novamente em Vila Real, passando por Murça, Mirandela e perto de Macedo de Cavaleiros, e termina em Bragança e Quintanilha (fronteira com Espanha).

Entre Amarante e Vila Real, é denominada por IP4. O IP4 não tem perfil de auto-estrada, uma vez que está construído maioritariamente com um perfil de 2x1 vias. É uma estrada bastante perigosa devido à elevada taxa de sinistralidade rodoviária.

A A4 cruza com o IC5 no Alto do Pópulo, que fará a ligação entre Vila Pouca de Aguiar e Miranda do Douro.

#### **2.5 Enquadramento dos Municípios com o IC5**

O IC5 é um itinerário complementar número 5 que, quando terminado, fará a ligação entre a A24, em Vila Pouca de Aguiar, e Miranda do Douro.

Foi pensado como um eixo estruturante que permitisse fazer a ligação do Litoral Norte ao interior do país, entre Vila do Conde e Miranda do Douro. No entanto, a secção entre a origem do itinerário e Vila Pouca de Aguiar foi construída com perfil de auto-estrada, designada por A7.

É uma estrada importante para a região transmontana porque veio estabelecer a ligação com vários municípios cujas acessibilidades eram deploráveis, principalmente os de Vila Flor, Alfândega da Fé, Mogadouro e Miranda do Douro.

Relativamente aos restantes troços, o troço entre Vila Pouca de Aguiar e Murça encontra-se em fase de projeto. Existe também a possibilidade, suportado por algumas populações espanholas, de prolongar o IC5 entre Miranda do Douro até Espanha através de uma ponte internacional, não existindo nenhum projeto para a ligação ou mesmo a localização para da ponte internacional. Atualmente o IC5 fazia parte de um troço entre Fafe e Guimarães, não participando na A7. O troço entre o Pópulo e Duas Igrejas (Mirando do Douro) foi totalmente disponibilizado.

O ponto mais alto do IC5 localiza-se entre Alfândega da Fé e Mogadouro, a cerca de 820m de altitude, no Planalto Mirandês, sendo que o ponto mais baixo localiza-se no Vale da Vilarça, concelho de Vila Flor, a cerca de 180m de altitude.

O IC5 foi muito bem construído e projetado no troço entre Mogadouro e Miranda do Douro, uma vez que este trajeto inclui retas com 8km e 5km de extensão.

## 2.6 Evolução da População

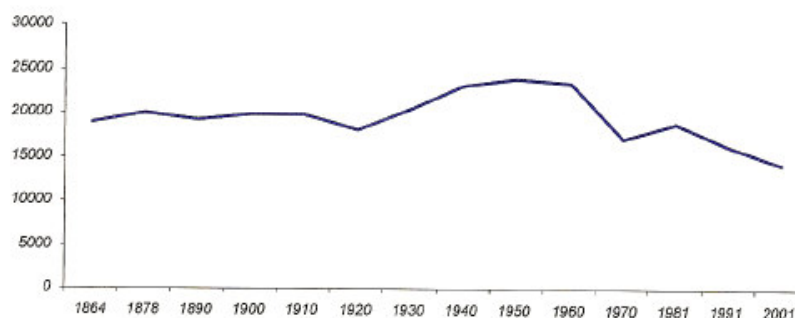
Tendo como base os dados dos recenseamentos da população em 1991 e 2001, elaborou-se, segundo (Narciso 2010), uma análise da evolução da população do município.

O município está inserido no NUT III Douro, ocupando 4122,30 Km<sup>2</sup> e concentra cerca de 2% da População Portuguesa, o município de Alijó, tem 14320 habitantes, distribuídos por 49 povoações, das quais 14 são freguesias e aproximadamente 300 Km<sup>2</sup>.

Ao longo dos anos, o Concelho de Alijó perdeu cerca de 39% da população entre 1960 e 2001, significando uma taxa de crescimento anula média (TCAM) de -0,95% nesse período.

A Tabela 1 apresenta a evolução da população de Alijó entre 1864 até 2001.

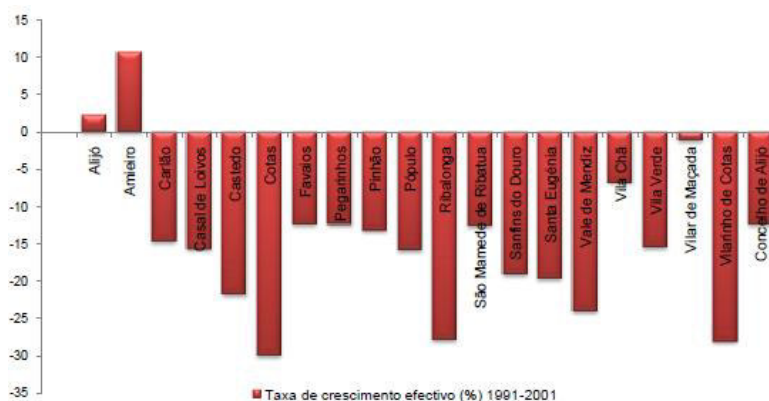
Tabela 2.1 - Evolução da População entre 1864 e 2001.



A taxa de crescimento efetiva (TCE) da população de Alijó e Amieiro apresenta um pequeno aumento, relacionado, no caso de Alijó e de acordo com (Narciso 2010), atração da população para a sede do concelho e no caso do Amieiro com o retorno da população à terra. Uma vez que quem regressa são idosos e em idades de reforma, não existe um renovar da população e o fenómeno de desertificação e envelhecimento populacional aumentam.

O Gráfico 2, mostra a evolução da população residente no Concelho de Alijó e freguesias entre 1991 e 2001.

Tabela 2.2 - Evolução da População de 1991 a 2001. (Narciso 2010)



### **3 Elementos necessários para um projeto de um nó de ligação**

#### **3.1 Generalidades**

Os pontos de conflito segundo (Fragata 2008), são locais onde as correntes de tráfego sofrem interferência de outras correntes e a melhor forma de diminuir ou até mesmo eliminá-los é através da construção de um nó de ligação.

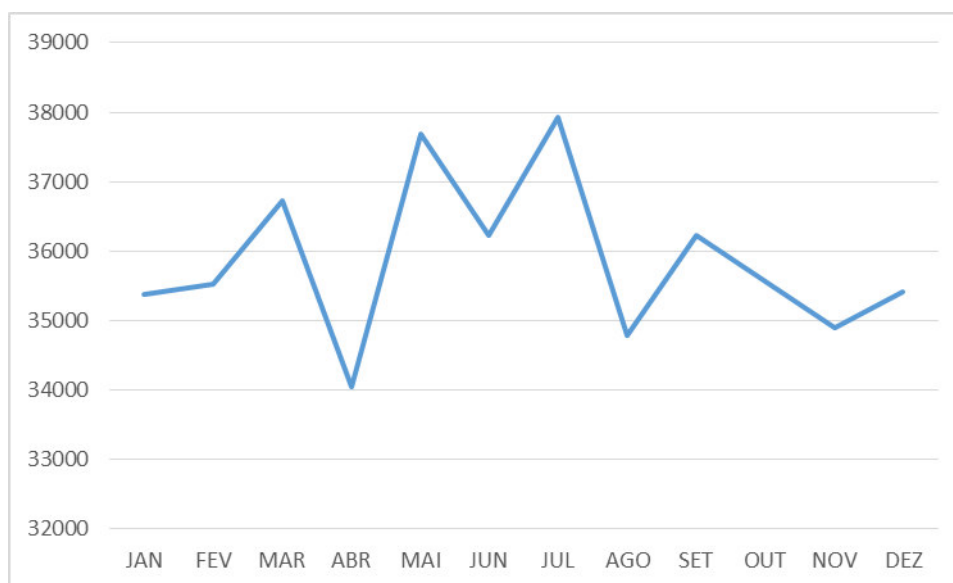
Os fatores que influenciam a escolha e o local de construção do nó de ligação são o volume e composição do tráfego, a velocidade, condicionamentos urbanísticos e topográficos, a segurança, a rede local, os impactes ambientais e o custo de obra.

O nó de ligação não deve ser estudado de forma isolada, mas analisando todo o percurso da estrada em que se insere. Não deverão, por isso, existir incompatibilidades das características operacionais de modo a que os condutores não encontrem grandes diferenças ao longo do traçado. Para evitar potenciais incertezas por parte dos condutores, as saídas devem ser idênticas e sinalizadas com antecedência. É importante que se proceda a uma análise da continuidade da trajetória seguida pelo condutor, de forma a se poder evitar proximidades entre saídas e entradas, sinalização confusa e trajetórias equívocas. Estas irregularidades aumentam o tempo de reação dos condutores, levando-os a cometerem movimentos perigosos e colocando em risco todos os usuários. A Norma dos Nós de Ligação define um espaçamento mínimo entre os nós de ligação, sendo 1 Km em zona urbana e 4 Km em zona rural.

#### **3.2 Tráfego**

O tráfego é um elemento básico e importante para a execução de um projeto de um nó de ligação. Na zona da construção de um nó, elementos como o tráfego médio diário, os volumes horários de projetos e a composição do tráfego devem ser satisfeitos de acordo com os diferentes movimentos verificados em todas as direções. Para um estudo de tráfego mais pormenorizado é necessário efetuar estudos de origem-destino, definindo-se, para cada ramo de ligação e para o ano-horizonte, o tráfego correspondente.

Gráfico 3.1 - Trafego Médio Diário Mensal A4 (Porto - Quintanilha) em 2012. (Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias)



### 3.2.1 Velocidade

As características geométricas dos troços de uma estrada condicionam as velocidades. Os fatores como o relevo topográfico, natureza do tráfego, condições de exploração, visibilidade, aderência do pneu ao pavimento e o fenómeno de aquaplanagem, deverão ser analisados na definição das características da estrada. O traçado deverá garantir uma certa homogeneidade, para que as velocidades específicas sejam constantes e o condutor não varie a velocidade frequentemente. Depois de definidas as características geométricas da estrada, calcula-se a velocidade máxima permitida para os diferentes ramos do nó, considerando a inclinação transversal da estrada.

### 3.2.2 Faixa de rodagem

A faixa de rodagem, como elemento de uma estrada, faz parte da via pública e é essencialmente destinada à circulação de veículos.

Segundo a Norma dos Nós de Ligação, a estrada principal deverá ter na zona do nó no mínimo 2 x 2 vias, mesmo que o perfil transversal desta estrada apresente apenas duas vias. A Norma das Interseções menciona que, para uma estrada de 2 x 2 vias, a largura da faixa de rodagem deverá ser de 7,0 metros, ou seja, 3,50 metros por cada via.

### 3.3 Segurança

As zonas que obrigam a uma atenção mais redobrada por parte dos condutores devem ser analisadas cuidadosamente, de modo a garantir a segurança num nó de ligação. Os locais que exigem mais destaque, tanto por parte do condutor como por parte do projetista são as vias de

aceleração, desaceleração, as curvas circulares e de transição, o tipo de pavimento e a proteção lateral. Durante a condução noturna, a iluminação na zona do nó de ligação deverá garantir as condições de segurança semelhantes às da condução diurna.

### **3.4 Meio Ambiente**

A construção de um nó apresenta sempre um impacto ambiental devido à forma das estruturas construídas, do número e extensão das vias e dos taludes. Estes elementos não devem ser considerados isoladamente, mas sim como parte integrante numa paisagem, possibilitando que a dimensão do impacto ambiental não seja negativo para o condutor e para aqueles que estão no exterior.



## **4 Enquadramento e Normas**

### **4.1 Introdução**

Uma interseção de nível é definida como a zona comum às faixas de rodagem de duas ou mais estradas que se cruzam de nível sob qualquer ângulo e na qual se podem encontrar os veículos que por ela convergem. As interseções mais comuns são as em T e em cruz, sendo que as interseções em cruz têm mais pontos de conflito, daí ser frequente a existência de mais acidentes.

As características geométricas da uma interseção devem ser definidas cuidadosamente, por forma a diminuir os conflitos, sendo que cada elemento comum deve ser tratado especificamente.

#### **4.1.1 Interseções de Nível**

Uma vez que a rede de viação de Portugal é extensa, as interseções de nível de duas ou mais vias de tráfego são frequentes. A maioria dos acidentes rodoviários ocorre nestes elementos do traçado, daí serem considerados de grande importância.

O aumento do número de ramos na interseção de nível provoca um aumento drástico dos pontos de conflito, sendo que os de cruzamentos são considerados os conflitos mais perigosos. A utilização de sinais verticais ou sinais luminosos permitem retardar os conflitos, enquanto a canalização de tráfego leva uma melhor definição das prioridades no cruzamento orientando os movimentos secundários de forma mais segura.

#### **4.1.2 Interseções Desniveladas**

As interseções desniveladas são feitas, devido a exigências topográficas, de capacidade ou segurança.

Permitem reduzir ou até mesmo eliminar os pontos de conflito por cruzamentos e permitem uma melhor articulação entre as estradas em cruzamento sobretudo quando as velocidades diferem.

Vantagens:

- Os condutores que seguem na mesma estrada podem fazê-lo sem perturbação, o mesmo não acontece num cruzamento de nível.

Desvantagens:

- Área de expropriação elevadas;
- Complexidade do projeto e redefinição de alguns troços;
- Necessidade de construção de obras de arte.

### 4.1.3 Nós de Ligação

Um nó de ligação é constituído por forma a minimizar os pontos de conflitos, ou seja, aumenta a capacidade de tráfego e melhora a segurança dos automobilistas. De acordo com (Miranda 2013) um nó de ligação constitui um conjunto de ramos que permitem a ligação de estradas que se cruzam mas que se encontram em níveis diferentes.

Os vários tipos de nós, estão regulamentados nas normas dos Nós de Ligação. O grande objetivo para satisfazer as necessidades destes tipos de nós, passa pela diferença de custos, mas os principais fatores a ter em conta na escolha devem ser as velocidades para os quais os nós são projetados, o tráfego que irá circular, a topografia existente no local, área de expropriação para implantação, condicionantes existentes e futuras e os impactes ambientais.

Um ramo de ligação é de acordo com (Estradas 1993), uma estrada de um nó de ligação onde os veículos entram ou saem das estradas em que se cruzam Os ramos de ligação mais frequentes são os ramos diretos, semi-diretos e indiretos.

A ligação pode ser efetuada entre itinerários principais, complementares e outras estradas (nacionais e municipais), podendo classificar-se os nós deste tipo de ligação em nós de 3 ramos e 4 ramos:

Nós de 3 ramos:

- Nó em Trompete;
- Nó em Pêra;
- Nó em Forquilha;
- Nó em Raquete.

Nós de 4 ramos:

- Nó em Diamante;
- Nó em Meio-Trevo Incompleto;
- Nó em Meio-Trevo Completo;
- Nó em Trevo.

Em seguida, serão apresentados os dois nós em estudo, o nó existente que foi desenvolvido em duplo trompete e o nó proposto em alternativa no âmbito deste estudo em trevo completo e um terceiro o nó em diamante. Estes três nós de ligação representam uma amostra importante das várias possibilidades de ligação.

#### 4.1.3.1 Nó em Trompete

O nó em Trompete (Figura 4.1) é formado por dois ramos diretos de mudança à direita, um anel e um ramo direto de mudança à esquerda. A sua utilização indica que a estrada secundária finaliza na estrada principal. No entanto, se no futuro a estrada secundária for prolongada, este tipo de nó não deve ser considerado. É um nó vantajoso, uma vez que a saída se inicia antes da estrutura, sendo por isso, de todos os nós com três ramos, o mais económico.



Figura 4.1 - Exemplo de Nó em Trompete (Google Maps, 2014)

#### 4.1.3.2 Nó em Diamante

O nó em Diamante (Figura 4.2) é constituído pela ligação mais simples, formado por quatro ramos diretos que iniciam as viragens à esquerda na estrada secundária através de interseções de nível. No entanto, a capacidade do nó está limitada pelas interseções, o que torna o seu custo menos dispendioso. Uma vez que é um nó com manobras muito ruinosas por parte dos condutores, facilita a utilização de duas interseções giratórias na estrada secundária.

Vantagens:

- As rampas de saída e de entrada situam-se antes e depois da obra de arte, respetivamente;
- Inexistência de entrecruzamentos na estrada principal.

Desvantagens:

- Elevados pontos de conflito na via secundária;
- Grande probabilidade de erros por parte dos condutores;



Figura 4.2 - Exemplo de Nó em Diamante com rotundas (Google Maps, 2014)

#### 4.1.3.3 Nó em Trevo

O nó de ligação em trevo pode ser de um dos três tipos: nó em meio trevo incompleto, nó em meio trevo completo e nó em trevo completo.

##### 4.1.3.3.1 Nó em Meio-Trevo Incompleto

É o nó mais simples dos nós de ligação em trevo (Figura 4.3), uma vez que apenas ocupa dois quadrantes. Apresenta dois ramos de ligação diretos e dois anéis que permitem fazer viragens à esquerda, da saída da estrada principal ou secundária. As restantes viragens efetuam-se na via secundária, onde duas delas adaptam-se a movimentos à direita.

Vantagens:

- Não apresenta entrecruzamentos;
- Torna-se mais simples instalar sinais de trânsito;
- Ocupa menos área de expropriação o que facilita a melhoria futura do nó.

Desvantagens:

- Elevados pontos de conflito na estrada secundária nas interseções;



Figura 4.3 - Exemplo de Nó em Meio Trevo Incompleto (Google Maps, 2014)

#### **4.1.3.3.2 Nó em Meio-Trevo Completo**

O nó em meio-trevo completo (Figura 4.4) ocupa uma maior área de expropriação, constituído por quatro ramos diretos e dois anéis. As quatro mudanças à direita são efetuadas a partir dos ramos diretos e dos movimentos à esquerda, onde dois são efetuados pelos anéis e os restantes à esquerda na rodovia secundária.

Vantagens:

- Não apresentam entrecruzamentos;
- Não incute manobras perigosas aos condutores;
- Apresenta uma maior capacidade que o nó em meio-trevo incompleto.

Desvantagens:

- Obriga a uma grande área de expropriação;
- As vias auxiliares serão realizadas sobre obras de arte.



Figura 4.4 - Exemplo de Nó em Meio Trevo Completo (Google Maps, 2014)

#### **4.1.3.3.3 Nó em Trevo Completo**

O nó e trevo completo (Figura 4.5) ocupa igualmente como o nó em meio-trevo completo uma grande área de expropriação, ou seja, ocupa os quatro quadrantes e é constituído por quatro ligações diretas e quatro anéis. As ligações diretas asseguram correntes de tráfego livres sem necessidade de viragens à esquerda. Os movimentos à direita são efetuados através dos ramos diretos e à esquerda através dos anéis. Quando as estradas a ligar são semelhantes recorre-se a estes tipos de nós.

Vantagens:

- Não existem níveis de conflitos na estrada secundária, uma vez que as mudanças à esquerda são eliminadas;

Desvantagens:

- Ocupa uma maior área que os nós anteriores
- Apresenta secções de entrecruzamentos na estrada principal limitando a capacidade nessa zona;
- Obriga as vias auxiliares a executarem-se sobre obras de arte, ou seja, apresentam um maior custo de construção.



Figura 4.5 - Exemplo de Nó em Trevo Completo (Google Maps, 2014)

## 4.2 Enquadramento

A escolha por um dos nós anteriormente referidos deve recair sobre o local escolhido, nas condicionantes de relevo, ambientais, normas das Estradas de Portugal e o fim pretendido.

O local escolhido para o estudo do presente projeto encontra-se na zona do Pópulo no concelho de Alijó, distrito de Vila Real. A estrada principal é um troço do IP4 como representa a Figura 4.6 e a estrada secundária a restabelecer com a nova proposta encontra-se também nesta figura entre o quilómetro 8+000 e 9+000 da estrada principal.

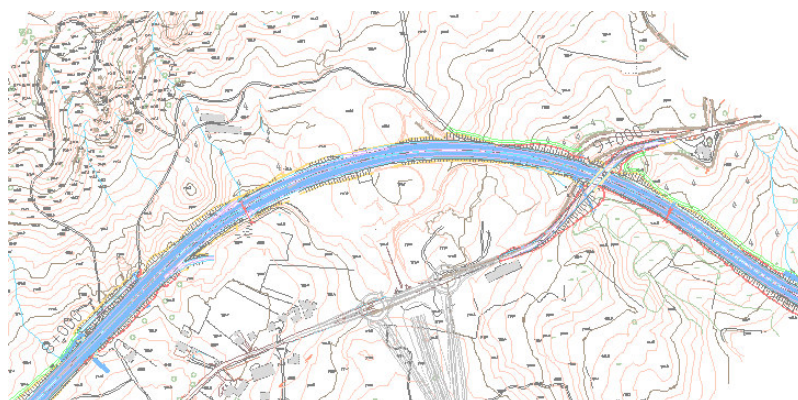


Figura 4.6 - Planta Topográfica da Zona em Análise. (Costa and Neves 2010)

Os principais objetivos do presente projeto não são só promover a ligação entre a estrada principal com a estrada secundária, uma vez que a ligação já se encontra concluída como se pode verificar na Figura 4.7, mas procurar uma outra solução que seja mais ergonómica e com menos custos, uma vez que a área de ocupação do nó existente é muito superior ao proposto neste projeto e todos os movimentos são assegurados.

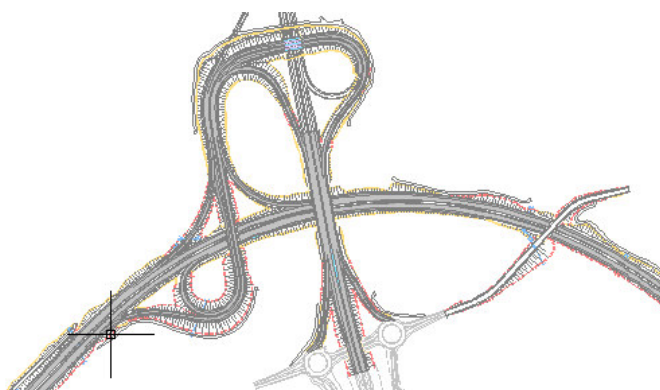


Figura 4.7 - Ligação existente na zona do Pópulo. (Costa and Neves 2010)

Tendo em conta que os volumes que se entrecruzam não são elevados no local referido e uma vez que se trata de estradas com 2 x 2 vias deve-se sempre adotar vias coletoras-distribuidoras a fim de se separar os entrecruzamentos do tráfego direto. De forma a incorporar esta situação, a solução possível seria nó em trevo completo. A solução permite utilizar os quatro quadrantes e as quatro ligações diretas, poupando assim em área relativamente ao nó existente, causando menores custos com expropriações. Contudo, tendo em conta a área aparentemente disponível, definiu-se uma solução que passa pelo nó em trevo completo. Uma vez que o terreno se encontra disponível para a utilização dos quatro quadrantes, embora não sejam simétricos entre si, existe uma estrada nacional com um nó em diamante no qual, por motivo próprio, não sofre alterações, o que obriga à utilização de dois quadrantes semelhantes como representa a Figura 4.8 e outros dois quadrantes como representa a Figura 4.9.

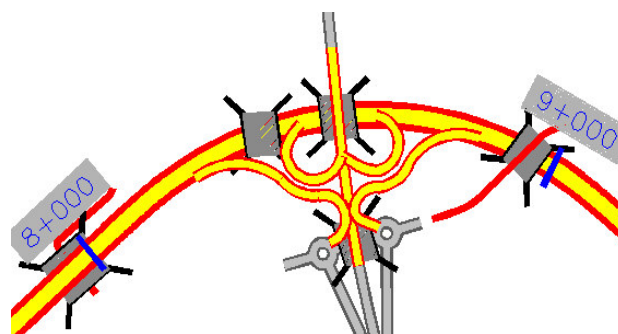


Figura 4.8 - Quadrante I e II

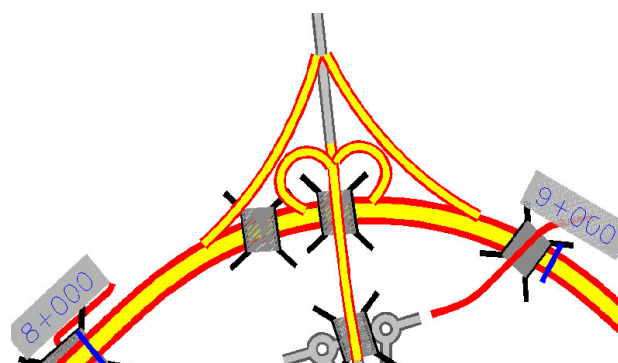


Figura 4.9 - Quadrante III e IV

Uma vez que a escolha do tipo de nó proposto já se encontra definido, deve-se ter em conta as condicionantes ao projeto impostas nas normas das Estradas de Portugal, do terreno e da geometria em questão. A Figura 4.10 apresenta o local onde será apresentada a nova proposta no qual podemos estabelecer as primeiras condicionantes. A norte da planta, a cor cinza escuro, está definida o futuro prolongamento do IC5 e a sul da planta, a cor azul e cinza claro, está definida o troço existente do IC5 com aproximadamente 133 km de extensão.



Figura 4.10 - Planta do Laço do IP4 com o prolongamento do IC5. (Costa and Neves 2010)

### 4.3 Condicionantes Impostas Nas Normas

Na construção geométrica do nó proposto e dos ramos que o constituem, são utilizadas normas que possibilitam o cumprimento dos requisitos de segurança e conforto de utilização.

As normas em causa são as normas de Traçado, de Interseções e Nós de ligação das Estradas de Portugal.

#### 4.3.1 Determinação do Traçado em Planta

As normas referidas anteriormente utilizam três definições diferentes para as velocidades, que devem ser explicadas para uma melhor análise das tabelas. A *Velocidade Base (Vb)* depende do relevo topográfico da estrada, fatores ambientais e fatores económicos que devem manter-se constantes ao longo do traçado. A *Velocidade do Tráfego (Vt)* é a velocidade que é excedida apenas por 15% dos veículos e é entre 10km/h a 20km/h superior à velocidade base. A *Velocidade Específica (Ve)* é a velocidade máxima, variável, que pode ser obtida em segurança numa determinada zona do traçado, considerado isoladamente. É aplicada a determinados pontos do traçado como por exemplo, os ramos dos nós.

##### 4.3.1.1 Curva Circular

Para facilitar a visibilidade e o desenvolvimento do traçado pelos condutores e ainda para diminuir a força centrífuga, o raio das curvas deve ser tanto maior quanto possível.

As curvas circulares devem ter um desenvolvimento tal, de modo que sejam percorridos em mais de dois segundos. Entre duas curvas circulares com o mesmo sentido deve existir um alinhamento reto com uma extensão mínima igual à distância percorrida em cinco segundos.

Por razões económicas, ambientais e de segurança os raios das curvas circulares sucessivas deve obedecer ao diagrama Figura 4.11.

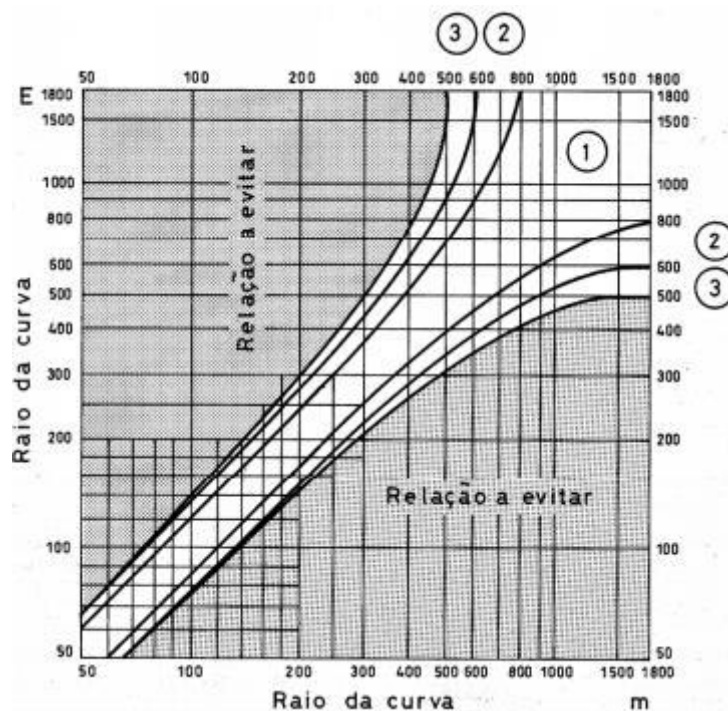


Figura 4.11 - Combinação de Raio Desejável (Estradas 1993)

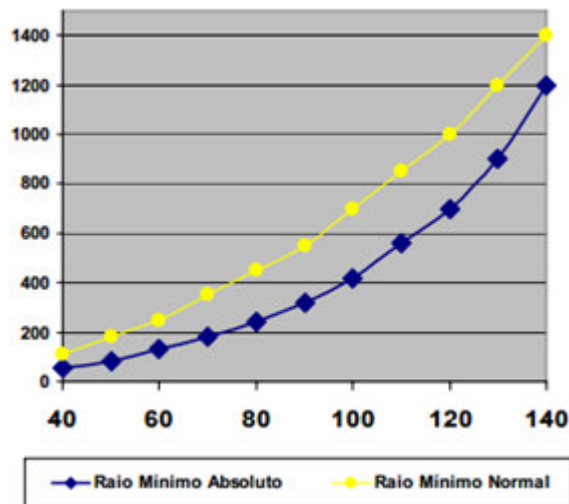
Na definição dos raios mínimos em planta, a norma do traçado faz corresponder a cada valor da velocidade base um raio mínimo a cumprir. Os valores de raios mínimos absolutos e normais estão expostos na Tabela 4.1 e Tabela 4.2. Os raios mínimos absolutos (RA) apenas são utilizados em circunstâncias especiais com uma aceleração centrífuga de 2,2 m/s<sup>2</sup> e são obtidos através da equação 1. Os raios mínimos normais (RN) devem assegurar uma circulação segura e cómoda fazendo corresponder a aceleração centrífuga a metade do valor máximo admissível, ou seja, de 1,1 m/s<sup>2</sup>.

$$R = \frac{v^2}{127x(ft + Se)} \quad (m) \quad (1)$$

Tabela 4.1 – Raios Mínimos Absolutos e Raios Mínimos Normais

Vb (Km/h)	Raio Absoluto (RA) (m)	Raio Normal (RN) (m)
	(Se=7%)	(Se=5%)
40	55	110
50	85	180
60	130	250
70	180	350
80	240	450
90	320	550
100	420	700
110	560	850
120	700	1000
130	900	1200
140	1200	1400

Tabela 4.2 - Raios Mínimos Absolutos e Raios Mínimos Normais. (Pereira, 2014)



A norma indica, zonas de curva circular, uma sobrelargura (Sl) que permite aos veículos longos não invadirem a via de sentido contrário, sendo que o valor da sobrelargura deve ser considerado em casos onde o raio seja inferior a 200m. O valor de Sl pode ser obtido através da equação 2.

$$Sl = \frac{80}{R} \quad (2)$$

A sobrelevação permite uma redução da aceleração centrífuga, aumentando a segurança e a comodidade e percepção da aproximação da curva. A Tabela 4.3 apresenta os valores de sobrelevação que correspondem a um dado raio da curva circular (R).

Tabela 4.3 - Sobrelevação em curva circular

Estradas com 2 Vias		Estradas com 2x2 Vias	
Raio (m)	Sobrelevação (%)	Raio (m)	Sobrelevação (%)
≤ 450	7	≤ 900	7
525	6,5	1100	6,5
600	6	1300	6
700	5,5	1500	5,5
850	5	1750	5
1000	4,5	2000	4,5
1200	4	2250	4
1400	3,5	2600	3,5
1600	3	3000	3
1900 ≤ R < 2500	2,5	3500 ≤ R < 5000	2,5
≥ 2500	-	≥ 5000	-

#### 4.3.1.2 Curvas de Transição

As curvas de transição são inseridas de modo a que o condutor não sinta uma mudança brusca quando se efetua a passagem de alinhamento reto para a curva circular. Essas curvas de transição são osculadoras ao alinhamento reto e à curva circular de modo a não se perder a continuidade do traçado em termos de curvatura e de tangentes.

As principais características das curvas de transição são:

- Assegurar a variação contínua da aceleração centrífuga entre os alinhamentos retos e as curvas circulares, a qual não deve exceder uma taxa de 0,5 m/s<sup>3</sup> por razões de segurança e comodidade;
- Permitir efetuar convenientemente a transição da sobrelevação e da sobrelargura;
- Melhorar a comodidade e perspetiva ótica do traçado, pelo que o ângulo de deflexão deve ser no mínimo 3,5 graus;
- Garantir que a extensão do arco de clotóide é, pelo menos, de  $2xVb$ .

O parâmetro da clotóide (A) é obtido através da equação 3, sendo (R) o raio da curva circular e (L) a extensão da clotóide.

$$A^2 = R \times L \quad (3)$$

A Figura 4.12 representa a esquematização da clotóide.

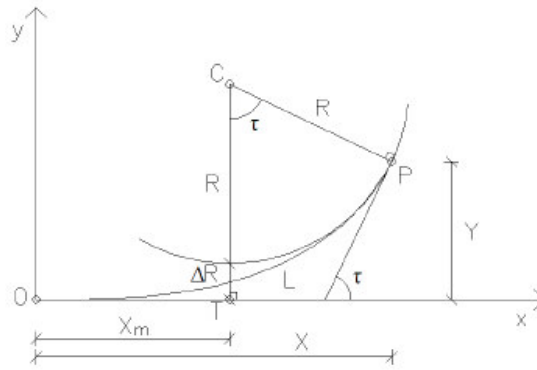


Figura 4.12 - Representação esquemática da clotoide (Miranda 2013)

Em que,

C – centro da curva circular;

R (m) – raio da curva circular;

L (m) – extensão da clotoide;

$\Delta R$  (m) – ripagem;

T (grados) – ângulo que a tangente à curva faz com o alinhamento reto;

X (m) – abscissa do último ponto da clotoide no sistema de eixos convencional com origem em O.

Y (m) – ordenada do último ponto da clotoide no sistema de eixos convencional com origem em O.

Os parâmetros X e Y são obtidos através das equações 4 e 5, respetivamente.

$$X = l - \frac{l^5}{40 x A^4} + \frac{l^9}{3456 x A^8} - \dots \quad (4)$$

$$Y = \frac{l^3}{6 x A^2} - \frac{l^7}{336 x A^6} + \frac{l^{11}}{42240 x A^{10}} - \dots \quad (5)$$

Para determinar o parâmetro da clotoide (A), este tem de obedecer a determinadas condições:

- Condição de Implantação:

$$A_{\text{implantação}} \leq R x \sqrt{\Omega_{rad}} \quad (6)$$

- Condição Dinâmica:

$$A_1 \geq \sqrt{\frac{VxR}{46.656xJ} x \left( \frac{V^2}{R} - 127x(S_e - i) \right)} \quad (7)$$

- Critério do disfarce da sobrelevação e sobrelargura

$$\sqrt{\frac{R x a x (S e - i)}{2 x \Delta_{i m \acute{a} x}}} \leq A_2 \leq \sqrt{\frac{R x a x (S e - i)}{2 x \Delta_{i m \acute{i} n}}} \quad (8)$$

- Critério estético:

$$A_3 \geq \sqrt{\frac{R x V}{1,8}} \quad (9)$$

- Critério da comodidade ótica:

$$A_4 \geq \frac{R}{3} \quad (10)$$

O intervalo dos valores obtidos é bastante vasto, sendo nesse caso o intervalo limitado por uma condição, chamada de condição desejável e é obtida pela equação 11.

$$R x \sqrt{\frac{\Omega}{3}} \leq A \leq R x \sqrt{\frac{\Omega}{2}} \quad (11)$$

#### 4.3.2 Condicionantes Impostas do Traçado Longitudinal

O estudo da diretriz deve ser feito em perfil longitudinal. A norma utilizada no ponto 4.3.1. [3] define valores limites para a inclinação dos traineis e dos raios das concordâncias na elaboração do perfil longitudinal (Miranda 2013).

Para evitar riscos, que estão relacionados com a drenagem superficial, a inclinação deve ser no mínimo de 0,5% em trainel. A inclinação aumenta nas zonas de curva em planta relativamente ao eixo e é obtida através da equação 12.

$$i_{curva} \geq 0,5\% + \Delta i_s \quad (12)$$

Na projeção de trainéis, a Norma impõe regras quanto à inclinação máxima e mínima, pontos de distância à origem conhecidos ou obrigatórios, minimização de movimentos de terras e organização entre planta e perfil. As Estradas de Portugal (EP) estabelecem um limite para a inclinação apresentada na Tabela 4.4 em função da Velocidade Base. Os valores apresentados nesta tabela podem sofrer alterações acrescidas de 1% ou 2% se a extensão do trainel for inferior a 600m ou inferior a 300m, respetivamente, no caso de terrenos sinistrados.

Tabela 4.4 - Inclinação máxima dos traineis (Estradas 1993)

Velocidade Base (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Inclinação máxima (%)	8	7	6	5	4	3

Se a extensão do trainel for muito longa, superior a 3000m, pode causar uma redução de velocidade nos veículos pesados e acabar, deste modo, por provocar um abrandamento dos

veículos ligeiros, levando a uma alteração da reação do condutor, é portanto considerado um fator de insegurança. A Tabela 4.5 apresenta a extensão crítica dos traineis para uma determinada inclinação.

Tabela 4.5 - Extensão crítica dos traineis (Estradas 1993)

Inclinação do tranel (%)	3	4	5	6	7	8
Extensão crítica (m)	420	300	230	180	150	120

A Figura 4.13 representa os elementos que constituem a concordância vertical entre dois traineis com inclinações longitudinais  $i_1$  e  $i_2$ .

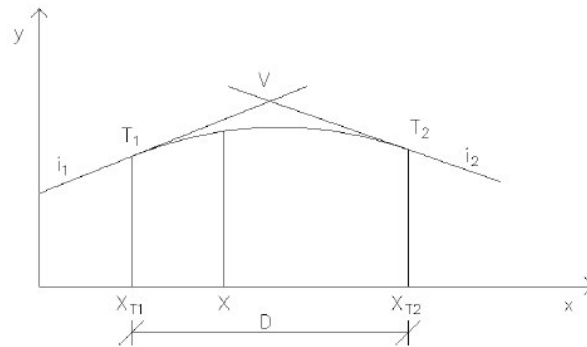


Figura 4.13 - Concordância vertical entre dois traineis (Coelho 2012)

O raio da concordância parabólica com o seu desenvolvimento ( $D$ ) e as inclinações dos traineis é obtido através da equação 13.

$$R_v = \frac{D}{i_1 - i_2} \quad (13)$$

O valor da cota da concordância parabólica em relação à distância ao ponto de tangência da mesma com o tranel pode ser determinado ponto a ponto através da equação 14.

$$h = h_{T1} + i_1 x X - \frac{X^2}{2 x R} \quad (14)$$

Em que,

$h$  – cota do ponto a determinar (m);

$h_{T1}$  – Cota do ponto inicial da concordância a partir do qual se mede a distância  $X$  (m);

$X$  – distância do ponto a determinar ao ponto inicial da concordância  $XT1$  (m);

$i_1$  – inclinação do tranel a partir do qual se considera o ponto inicial da concordância. Este valor deve ser positivo se a inclinação for crescente no sentido crescente do valor de  $X$  e negativo em caso contrário.

R – raio da concordância (m). Este valor deve ser positivo no caso de a concordância ser convexa e negativo no caso de ser côncava.

A Tabela 4.6 e Tabela 4.7 contêm os valores dos raios mínimos, absolutos e normais, assim como os desenvolvimentos recomendados pela norma para as concordâncias convexas e côncavas, respetivamente.

Tabela 4.6 - Raio e Desenvolvimento mínimo para concordâncias convexas (Miranda 2013)

Vb (km/h)	Vt(km/h)	Raio mínimo		Desenvolvimento mínimo	
		Absoluto <sup>1</sup> (m)	Normal (m)	Absoluto (m)	Normal (m)
40	50	1500	1500	40	60
50	60	1500	2100	50	60
60	80	2000	3000	60	120
70	90	3000	4200	70	120
80	100	5000	6000	80	120
90	110	7500	8500	90	120
100	120	9000	12500	100	120
110	125	12000	13000	110	120
120	130	14000	16000	120	120
140	140	20000	20000	140	140

Tabela 4.7 - Raio e Desenvolvimento mínimos para concordâncias côncavas (Miranda 2013)

Vb (km/h)	Vt (km/h)	Raio mínimo (m)	Desenvolvimento mínimo (m)
40	50	800	60
50	60	1200	60
60	80	1600	120
70	90	2500	120
80	100	3500	120
90	110	4500	120
100	120	5500	120
110	125	6000	120
120	130	7000	120
130	135	8000	140
140	140	8000	140

#### 4.3.3 Condicionantes dos Nós de Ligação

Segundo (Estradas 1993) os ramos de um nó asseguram a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes, de modo a reduzir ou eliminar pontos de conflito, melhorar a segurança e

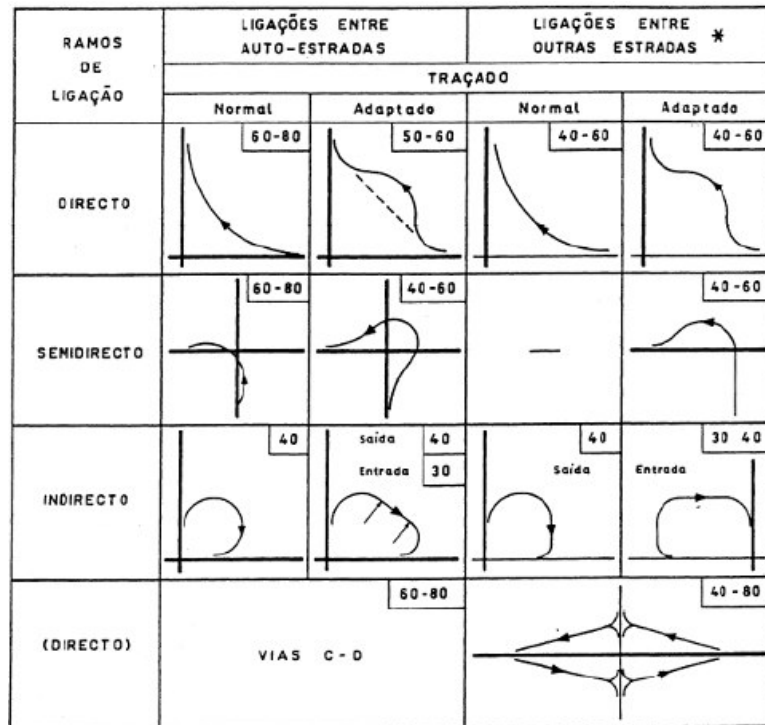
aumentar o fluxo de tráfego. Os conflitos devidos aos atravessamentos das correntes de tráfego são sempre eliminados num nó de ligação, ao passo que devido às mudanças de sentidos, podem ser eliminados, ou pelo menos minimizados, conforme o tipo de nó que for adotado.

A proximidade do nó para o condutor é um dos aspetos importantes tratados na norma. As distâncias de visibilidades recomendadas em função da velocidade base da estrada principal, condicionante da geometria do nó a dimensionar no presente projeto, são apresentadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Distância de visibilidade em função da velocidade (Miranda 2013)

Vb (km/h)	Distância de Visibilidade (m)
100	330
110	370
120	400

Como referido anteriormente, a velocidade específica é a velocidade máxima que pode ser obtida nesse traçado. A Figura 4.14 representa o intervalo das velocidades específicas a adotar normalmente nos ramos de ligação.



\* - Podendo uma delas ser auto-estrada

Figura 4.14 - Velocidades adotar nos ramos de ligação (Miranda 2013)

Nos ramos de ligação são aceites níveis de comodidade e segurança maiores, relativamente à via de circulação, com valores de sobreaceleração normal entre 0,75 e 1,2 m/s<sup>3</sup> opondo-se ao limite de

0,5 m/s<sup>3</sup> previstos nas normas do traçado da via de circulação. A Tabela 4.9 apresenta os valores da velocidade específica e os valores correspondentes do raio mínimo, da extensão mínima da transição, do parâmetro da clotóide e extensão mínima das curvas circulares.

Tabela 4.9 - Raio mínimo, Extensão mínima da transição, extensão mínima das curvas circulares e parâmetro da clotóide para uma Velocidade específica (Ve) (Miranda 2013)

<b>Ve</b> <b>(km/h)</b>	25	30	35	40	45	50	55	60
<b>Raio mínimo</b> <b>(m)</b>	15	25	35	45	60	75	90	120
<b>Extensão mínima da</b> <b>transição</b> <b>(m)</b>	15	21	24	28	32	36	40	45
<b>Parâmetro da clotóide</b>	15	22,5	28	36	45	52	60	75
<b>Extensão mínima</b> <b>(m)</b>	9	11	13	15	18	24	30	36

O perfil transversal dos ramos de ligação é um tema abordado na norma. A Tabela 4.10 apresenta a sobrelargura a utilizar consoante o raio da curva circular.

Tabela 4.10 - Sobrelargura em função do raio da curva circular (Coelho 2012)

<b>Raio da curva circular (m)</b>	<b>Sobrelargura (m)</b>	<b>Largura Total (m)</b>
35	2	6,00
45	1,25	5,25
55	1	5,00
65	0,60	4,60
75	0,30	4,30
90	0	4,00

Os ramos de ligação são constituídos pela faixa de rodagem, berma da direita e berma da esquerda. Sendo o raio igual ou superior a 90 m, a faixa de rodagem deverá ter 4,0 m, caso contrário, a faixa de rodagem terá 4,0 m mais a correspondente sobrelargura, conforme apresentado na Tabela 4.10.

As bermas devem ser pavimentadas para que um veículo pesado ou articulado possa descrever mais facilmente a curva. Conforme apresenta a Figura 4.15, nos ramos unidirecionais, a berma da direita deverá ter 2,5 m e a berma da esquerda 1,0 m.

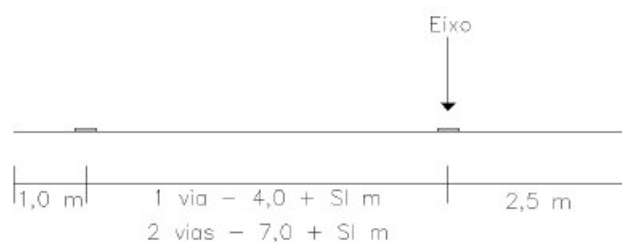


Figura 4.15 - Largura da faixa de rodagem e das bermas da direita e esquerda em ramos unidirecionais. (Miranda 2013)

Nos ramos de ligação, para curvas de raio mínimo, a sobrelevação máxima permitida é de 12% e no caso das condições climatéricas possam formar gelo ou neve, a sobrelevação máxima permitida é de 8%. A sobrelevação mínima deverá ser de 2,5% de modo assegurar a drenagem das águas pluviais. Na Tabela 4.11 apresentam-se os valores das sobrelevações adotar nos ramos de ligação, em função do raio da curva circular e da velocidade base.

Tabela 4.11 - Sobrelevação dos ramos de ligação (Miranda 2013)

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

Os limites normais para a variação da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação e os limites para a diferença máxima entre inclinações transversais da estrada principal e de um ramo de ligação previsto também na Norma, são apresentados na Tabela 4.12 e Tabela 4.13, respetivamente.

Tabela 4.12 - Limites da variação da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação (Miranda 2013)

<b>Velocidade no ramo (km/h)</b>	25 – 30	40	50	> 60
<b>Varição máxima da sobrelevação a cada 20 m (%)</b>	5,3	4,7	4	3,3

Tabela 4.13 - Diferença máxima entre inclinações da estrada principal e de um ramo de ligação (Miranda 2013)

<b>Velocidade no ramo (km/h)</b>	25 e 30	40 e 50	> 60
<b>Diferença máxima (%)</b>	5 – 8	5 – 6	4 – 5

## 5 Nó do Pópulo – Existente

### 5.1 Considerações Gerais

O projeto do Nó de Ligação do Pópulo foi realizado recorrendo à Norma dos Nós de Ligação, das Estradas de Portugal. Uma vez que se trata da ligação de uma estrada principal com uma estrada secundária, as características geométricas dos ramos de ligação foram otimizadas.

Segundo (Costa and Neves 2010), as velocidades de projeto preconizam-se entre os 40 km/h e 60 km/h. A velocidade de projeto considerada para os ramos foi definida consoante a disponibilidade territorial para a sua implantação.

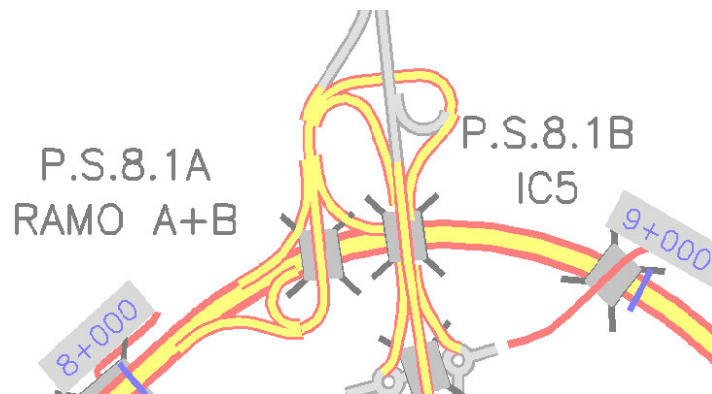


Figura 5.1 - Passagem Superior do ramo bidirecional e da interseção da A4/IP4, respetivamente.

A geometria existente do nó é do tipo duplo-trompette, onde o ramo bidirecional transpõe a auto-estrada em estudo com recurso a uma Passagem Superior, (PS8.1BA) e o IC5 em Passagem Inferior. O Nó está localizado, aproximadamente, ao km 8+403.

À passagem do km 8+560, na interseção da A4/IP4 com o IC5 (Figura 5.2), foi construída novamente uma Passagem Superior (PS8.1B)



Figura 5.2 - Interseção da A4/IP4 com o IC5

Um dos troços do IC5, cuja extensão é de aproximadamente 400m foi executado apenas com o intuito de permitir a ligação do IC5 com a EN15. Esta construção é compatível para Sul e para Norte, da A4/IP4.

Conforme (Costa and Neves 2010) e o especificado na Norma das Interseções, da EP, as vias de aceleração e desaceleração são dimensionadas sempre do tipo paralelo.

## 5.2 Ramos do Nó

### 5.2.1 Descrição geral

Os ramos unidirecionais (Figura 5.3) do nó totalizam aproximadamente 2320m de extensão repartidos como se descreve de seguida:

- Ramo A, destina-se à saída para o tráfego que circula na A4, em direção a Bragança, para o IC5, com uma extensão de 236.748m.
- Ramo B, permite a saída para o tráfego proveniente do IC5, para a A4 em direção a Bragança, com extensão de 148.838m.
- Ramo C, com movimento inverso do Ramo B, com uma extensão de 253.619m.
- Ramo D, com movimento inverso do Ramo A, com uma extensão de 300.673m.
- Ramo E, permite a saída para o tráfego que circula no IC5, sentido Sul/Norte para a A4, com uma extensão de 212.799m.
- Ramo F, permite o movimento de tráfego de entrada no IC5 para Norte, proveniente da A4, com uma extensão de 143.598m. Não incluído na Construção.
- Ramo G, com movimento inverso ao Ramo F, com uma extensão de 338.050m. Não incluído na Construção.
- Ramo H, permite o inverso do Ramo F, com uma extensão de 300.253m.
- Ramo A+B, ramo bidirecional, liga todos os ramos anteriormente descritos, com uma extensão de 708.837m.
- Ramo I, permite o movimento de saída do IC5 em direção à atual EN15, com uma extensão de 199.673m.
- Ramo J, com movimento inverso ao Ramo I, apresenta uma extensão de 180.386m

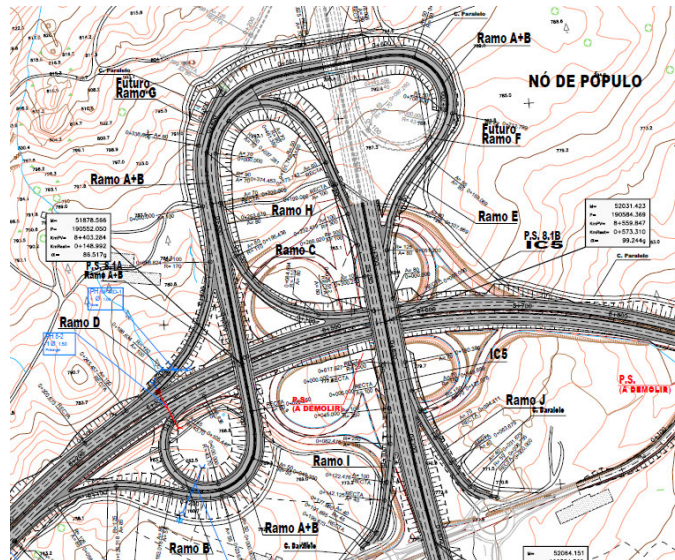


Figura 5.3 - Ramos de Ligação do Nó em duplo Trompete

### 5.2.2 Perfis Transversais Tipo

O perfil transversal tipo dos ramos unidirecionais é constituído por:

- Uma berma esquerda com 1.00m de largura.
- Uma faixa de rodagem com 4.00m, 1.00m de sobrelargura quando o raio menor ou igual a 90m.
- Uma berma direita com 2.50m de largura.
- Concordâncias com os taludes de aterro ou com valetas em terra efetuadas numa largura com 0,60m e 10% de inclinação.
- Nos alinhamentos retos a sobrelevação é de 2,5%. Nas secções em curva, as sobrelevações variam em função do raio. A inclinação transversal nas bermas é igual à faixa de rodagem.

O perfil transversal do ramo bidirecional é constituído por:

- Duas faixas de rodagem de 4.00m de largura para uma via e 8.00m de largura para duas vias.
- Um separador central com 0.60m de largura constituído por uma guarda rígida tipo “New Jersey”.
- Bermas esquerdas com 1.00m de largura e bermas da direita com 2.50m de largura e com a mesma inclinação que o pavimento da faixa de rodagem.

O perfil transversal do IC5 é em tudo idêntico ao do Ramo bidirecional, com exceção à faixa de rodagem, uma vez que apresenta 2 vias no mesmo sentido com 3.75m cada, ou seja, duas faixas de rodagem com 7.50m cada.

De acordo com (Costa and Neves 2010), prevê-se a expropriação, de uma faixa de 7,0 m para além das saias dos taludes sempre que se preveja a instalação de caminhos paralelos, de modo a permitir a execução dos órgãos de drenagem e a vedação física do empreendimento.

### 5.2.3 Características geométricas

Na Tabela 5.1, apresentam-se as características geométricas adotadas para os traçados dos ramos do Nó do Pópulo.

Tabela 5.1 - Características do Nó do Pópulo (Costa and Neves 2010)

Designação	Extensão	PLANTA		PERFIL LONGITUDINAL			Via Adicional
		R min (m)	R máx (m)	Trainéis	Curvas Verticais		
				I máx	Côncava	Conversa	
				(%)	R min (m)	R min (m)	
Ramo A	236.748	125.000	125.000	5.000	2500.000	-	a) desaceleração
Ramo B	148.838	43.700	43.700	5.000	900.000	-	b) aceleração
Ramo C	253.619	110.000	110.000	8.000	700.000	800.000	a) desaceleração
Ramo D	300.673	170.000	170.000	7.500	800.000	800.000	b) aceleração
Ramo A+B	708.837	50.000	90.000	5.000	1500.000	1500.000	-
Ramo E	212.799	125.000	125.000	5.000	1500.000	1200.000	-
Ramo F	143.598	43.700	43.700	0.500	800.000	-	-
Ramo G	338.050	200.000	200.000	8.000	700.000	-	-
Ramo H	300.253	50.000	300.000	4.500	-	1200.000	-
Ramo I	199.673	45.000	250.000	7.750	700.000	600.000	-
Ramo J	180.386	50.000	150.000	7.500	600.000	700.000	-

a) - 200m  
b) - 270m

### 5.2.4 Vias de Aceleração e de Desaceleração

As vias de aceleração e desaceleração são do tipo paralelo e apresentam 3,5m de largura associadas a bermas com 2,5m de largura nas zonas de entrada e saída dos ramos.

Segundo (Costa and Neves 2010) a configuração do Nó do Pópulo implica a existência de entrecruzamentos dos fluxos de tráfego no prolongamento do IC5. A fim de aumentar a capacidade do entrecruzamento, foi efetuado o prolongamento de vias de entrecruzamento no sentido da saída.

## 6 Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Trevo Completo

### 6.1 Introdução

O objetivo deste projeto é a geometrização de um nó de ligação entre duas estradas. Após uma introdução normativa de base ao projeto e uma revisão dos conhecimentos teóricos necessários, neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na procura da solução final do Projeto de Execução do Nó de Ligação. Estudam-se várias opções na definição dos elementos constituintes do projeto e aplica-se a que melhor se enquadra, face aos condicionantes que surgem num projeto desta natureza.

A definição geométrica do Nó de Ligação e todas as alterações geométricas e físicas necessárias são realizadas com o apoio do software de desenho AutoCad, fornecido pela Autodesk, Inc. e do software de cálculo Microsoft Office Excel®. O primeiro, Autocad 2013, é um software de desenho assistido por computador utilizado nas várias vertentes da Engenharia Civil e não só, sendo uma das plataformas para a definição geométrica de qualquer projeto. O Microsoft Office Excel é uma ferramenta de cálculo e de construção gráfica. A partir deste são testadas as alternativas através da mudança de um ou outro parâmetro caracterizador dos elementos do projeto. Ao longo do presente capítulo, são apresentados os valores com base nesta ferramenta, permitindo a sua transposição para o Autocad. A introdução manual dos valores no AutoCad, os quais permitem a piquetagem dos elementos do perfil longitudinal e transversal, é feita através do dimensionamento das curvas e do local de implantação previamente definido.

Para a realização deste projeto foram necessários dados que a Auto Estradas XXI forneceram e que consistiram em: planta topográfica à escala 1:2000 (Desenho nº 1), a diretriz da Estrada Principal (A4/IP4) e a diretriz da Estrada Secundária (IC5) (Desenho nº 3) e a ocupação do solo; perfil longitudinal do IC5.

O Nó de Ligação a implementar situa-se no concelho de Alijó, distrito de Vila Real. A estrada principal é um lanço da A4/IP4, localizado nas encostas do Pópulo. O troço em questão faz parte da solução base do projeto. A estrada secundária é o IC5, um itinerário complementar que, quando concluído, fará a ligação entre a A24, em Vila Pouca de Aguiar e Miranda do Douro. O troço de intervenção situa-se nas proximidades do Alto do Pópulo, fazendo a ligação com a EN 15.

No desenvolvimento deste trabalho serão utilizadas designações para identificar cada um dos ramos do nó de ligação. De uma maneira geral, utilizam-se as seguintes nomenclaturas que se encontram na Figura 6.1 para os ramos de um nó de ligação em trevo completo:

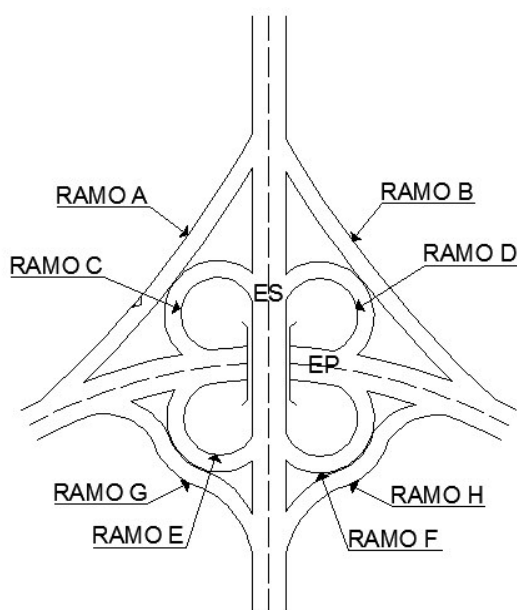


Figura 6.1 - Designação dos ramos utilizados

## 6.2 Condicionantes do Projeto

### 6.2.1 Ligações à Rede Local

A compatibilização do nó de ligação em estudo com a rede local sai fora do âmbito deste projeto. No entanto, fizeram-se alterações que irão restabelecer o tráfego da EN 15 ao qual está sobreposto um nó em diamante. Considera-se uma ligação direta do ramo às rotundas do nó, esta solução visa assegurar melhores condições de circulação local e garantir o desenvolvimento futuro das regiões envolventes. Na planta de implantação que se encontra em Anexo (Desenho nº 2), poderão ser observadas estas alterações.

### 6.2.2 Obra de Arte

O perfil transversal-tipo da estrada deve manter-se constante no troço do nó de ligação, de modo a que a atenção dos condutores não seja desviada da estrada. A estrutura deve ser idealizada de forma a adaptar-se ao traçado do nó, com base em estudos para determinar se a estrada principal circula por cima ou por baixo da estrutura. A topografia do terreno condicionou a escolha da passagem da estrada principal. A construção não terá um impacto ambiental tão significativo e os custos de execução e manutenção são menores quando o traçado se adapta à topografia local. Como se pode verificar na planta topográfica (Desenho nº 1), o terreno cresce em altitude em direção ao lado norte e deste modo, o mais prático e económico é que a estrada principal passe por baixo da obra de arte. Por este motivo, a passagem superior facilita a desaceleração dos veículos que saem e aceleração dos que entram na estrada principal. Para os condutores da estrada

principal é mais favorável, uma vez que não têm o incómodo de possíveis reparações e manutenções das juntas.

### **6.2.3 Número de Vias**

No caso em estudo, optou-se por uma via em cada ramo do nó de ligação, duas vias por sentido na estrada principal e uma via por sentido na estrada secundária. Considerando que a zona de implantação do nó de ligação se localiza na atual A4/IP4 – Porto/Bragança, a escolha de duas vias por sentido melhora substancialmente as condições operacionais, dado que, segundo os dados do Instituto das Infraestruturas Rodoviárias IP, é uma via muito saturada devido ao tráfego de pesados e ligeiros que utilizam as infraestruturas de circulação.

## **6.3 Traçado em Planta**

### **6.3.1 Estrada Principal**

#### **6.3.1.1 Velocidade específica**

Neste lanço da estrada principal limitar-se-á a velocidade a 100 Km/h (pela lado da segurança). Dado este limite de velocidade, a estrada principal poderá ser uma via reservada a automóveis ligeiros e pesados e motociclos com perfil de auto-estrada.

#### **6.3.1.2 Largura da faixa de rodagem**

Para uma estrada de duas vias por sentido, a largura da faixa de rodagem deverá ser de 7,0m (3,5 m cada via).

#### **6.3.1.3 Separadores**

Para a separação das faixas de rodagem da estrada principal, o separador mais adequado é do tipo New Jersey de 4,0 m. Este poderá funcionar como:

- Existência de negativos na parte inferior para escoamento de águas;
- Reconduzir veículos para o eixo das vias, minimizando os danos produzidos tanto no veículo como nas guardas.
- Ocupação de um espaço diminuto.

#### **6.3.1.4 Elementos característicos da diretriz**

A quilometragem e os parâmetros geométricos do eixo da estrada principal já estavam definidos inicialmente. Na zona influente do nó de ligação considerou-se a distância entre o quilómetro 8+100 e 8+900. Neste troço a estrada principal é constituída por uma curva circular.

No Anexo poderá ser observada a planta da estrada principal.

### 6.3.1.5 Definição dos Elementos Característicos dos Ramos

Para melhor compreensão na definição dos elementos característicos dos ramos, as nomenclaturas utilizadas serão as mesmas das situações anteriores. A explicação de seguida apresentada para o Ramo A, deverá ser acompanhada da planta de implantação. (Figura 6.2)

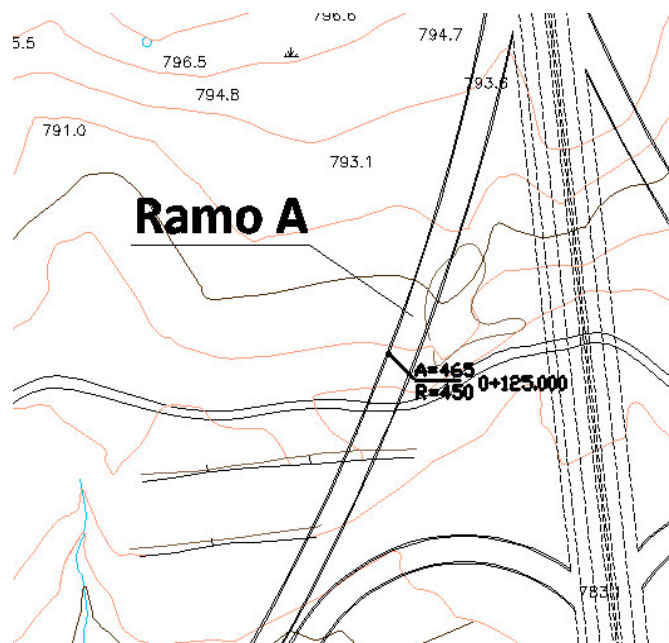


Figura 6.2 - Planta de implantação do Ramo A

### 6.3.2 Ramo A

#### 6.3.2.1 Parâmetros Geométricos

No Ramo A, composto apenas pela curva circular central, considerou-se inicialmente uma velocidade de 80 km/h. Contudo, no cálculo da derrapagem para o exterior a velocidade não verificava e optou-se por uma velocidade base de 60 km/h e um raio normal de 120 m (Tabela Ramo A - Curva 5):

Considerando para todos os Ramos:

- Sobreelevação (Se) = 7%
- Largura da faixa de rodagem (a) = 3,5 m
- Inclinação – Pavimento Betuminoso (i) = 2,5%
- $\Delta i_{\text{máx}} = 1\%$  para velocidades base compreendidas entre 40 km/h e 80 km/h
- $\Delta i_{\text{mín}} = 0,1 \times l = 0,1 \times 3,5 = 0,35\%$ , com

- $l = 3,5$  m (distância entre o eixo de rotação e o limite da faixa de rodagem)
- Sobreaceleração normal ( $J$ ) =  $0,5$  m/s<sup>3</sup>

Tendo em conta as condições que o parâmetro da clotóide ( $A$ ) tem de obedecer, que se podem visualizar através das equações (6) a (10), obteve-se um intervalo dos valores, sendo que deste se adotou um parâmetro de 465 m.

### **6.3.2.2 Sobrelargura**

Como o raio da curva circular é de 450 m ( $> 200$  m) e através da equação (2), não foi considerada sobrelargura, ou seja,  $Sl = 0$ .

### **6.3.2.3 Dimensionamento da Curva de transição do Ramo A**

Para a marcação das curvas em planta são necessárias as equações paramétricas (4) e (5) que definem os valores  $X$  e  $Y$  respetivamente, para cada valor de desenvolvimento ( $L$ ), ao longo da curva.

Os eixos  $X$  e  $Y$  têm origem nos pontos  $O$  de cada curva de transição, sendo que  $X$  tem a direção do tramo poligonal que contém o ponto  $O$  e o sentido positivo de  $O$  para  $V$ , enquanto  $Y$  é perpendicular a  $X$  com sentido positivo para o interior da curva composta (Figura 6.3).

Para marcação da curva de transição (Tabela 6.1 – Piquetagem ) aplicaram-se desenvolvimentos de 25 em 25 m até  $L_A = 480,5$  m.

Tabela 6.1 – Piquetagem Ramo A

A	Ramo A		
	L	x	y
465	0	0	0
	25	24,99999478	0,012044
	50	49,9998329	0,09635
	75	74,99873108	0,325182
	100	99,99465278	0,770802
	125	124,9836816	1,505473
	150	149,9593945	2,601457
	175	174,9122356	4,131017
	200	199,8288889	6,166416
	225	224,6916522	8,779917
	250	249,4778104	12,04378
	275	274,1590084	16,03027
	300	298,7006251	20,81165
	325	323,0611465	26,46019
	350	347,1915389	33,04814
	375	371,0346225	40,64776
	400	394,5244449	49,33133
	425	417,585654	59,1711
	450	440,1328719	70,23933
	475	462,0700679	82,6083
480,5	466,8039555	85,5112	

### 6.3.2.4 Geometria do traçado em planta

A curva composta fica completamente definida quando conhecidos: o ângulo dos alinhamentos ( $\Omega$ ), o raio da curva circular central (R) e o parâmetro da Clotóide (A). Depois de definidos os parâmetros da curva será possível determinar os pontos por onde ela passa.

Na Figura 6.3 pode observar-se uma curva composta.

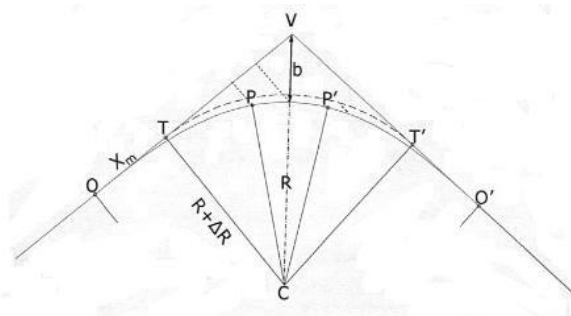


Figura 6.3 - Curva Composta

O raio da curvatura desta curva será:

$$R' = R + \Delta R \quad (15)$$

Com,

$$\Delta R = \frac{A^4}{24R^3} \quad (16)$$

$\Delta R$  (m) – ripagem

Para a implantação da clotóide determinou-se a posição do ponto O.

Para tal, interessa calcular a distância OV (Figura 6.3):

$$OV = OT + TV \quad (17)$$

Em que,

$$OT = Xm = L - \frac{L^3}{240R^2} \quad (18)$$

$$OV = (R + \Delta R) \cot g \frac{\beta}{2} \quad (19)$$

Medindo esta distância segundo o alinhamento reto e a partir do ponto V, fica então localizado o ponto O. Depois de conhecido este ponto, procedeu-se à implantação da clotóide, usando as equações paramétricas da curva como foi anteriormente descrito (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Dados Ramo A

Ramo A	
<b>X</b>	466,804
<b>Y</b>	85,5112
<b><math>\tau</math></b>	0,533889
<b><math>\Omega</math></b>	2,18
<b>A</b>	120
<b>L</b>	120
<b>R</b>	120
<b>Xm = OT</b>	237,9673
<b><math>\Delta R</math></b>	21,3778
<b>TV</b>	903,6745
<b>TL</b>	322,1524
<b>TK</b>	168,0364

Para os restantes ramos do Nó de Ligação, foram utilizados os mesmos métodos e procedimentos, sendo que os resultados finais encontram-se em Anexo.

## 6.4 Perfil Longitudinal

### 6.4.1 Particularidades Teóricas dos Ramos

Os valores das cotas a respeitar nas zonas de convergência com a estrada principal e estrada secundária são as principais condicionantes no perfil longitudinal. Determinaram-se as cotas de três pontos características para cada confluência, respeitando sempre a inclinação precedente e seguinte no começo e fim do ramo, respetivamente.

Em seguida, apresenta-se na Figura 6.4 um esquema para determinar a rasante a passar nos três pontos escolhidos, sendo que a linha vermelha e preta representa os dados conhecidos e a linha verde a concordância a determinar.

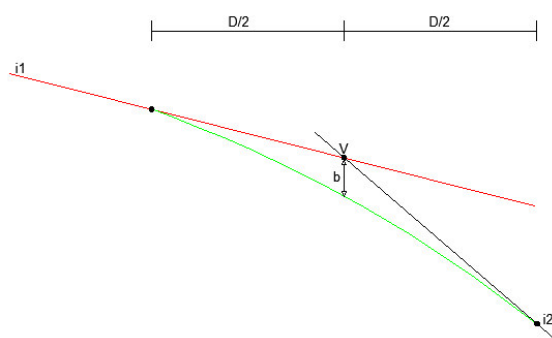


Figura 6.4 - Concordância a passar em três pontos.

### 6.4.2 Trainéis

#### 6.4.2.1 Inclinações Máximas

Segundo a Norma dos Nós de Ligação, as inclinações máximas para os ramos de ligação são as estabelecidas na Tabela 4.4.

#### 6.4.2.2 Inclinações Mínimas

A inclinação mínima dos trainéis é de 0,5%.

### 6.4.3 Definição dos Elementos Característicos dos Ramos

#### 6.4.3.1 Ramo A

##### 6.4.3.1.1 Definição da Rasante

Considerando uma velocidade base de 60 km/h para o raio de 450 m, optou-se por ser o limite de velocidade para todo o ramo. Posto isto, com os raios e desenvolvimentos mínimos estabelecidos na Tabela 4.7 o raio mínimo para as concordâncias verticais é:

$$R_{min} = -1600 \text{ m}$$

As inclinações dos trainéis para o Ramo A são iguais a:

$$i_1 = 2,5\%$$

$$i_2 = 5,0\%$$

Então, com base na equação (13) e nas inclinações dos trainéis determinou-se o seu desenvolvimento.

$$D = R_{min}(i_1 - i_2) = 40 \text{ m} \quad (20)$$

A Tabela 6.3 apresenta os resultados obtidos para a definição da rasante do Ramo A.

Tabela 6.3 – Dados Ramo A

Ramo A		
1° Trainel	VB	60
	$R_{min}$	-1600
	$i_1$	0,025
	$i_2$	0,05
	D	40
	$D_{utilização}$	<b>120</b>
	$R_{utilização}$	<b>-4800</b>
	<b>b</b>	<b>0,375</b>
2° Trainel	VB	60
	$R_{min}$	-1600
	$i_1$	0,05
	$i_2$	0,075
	D	40
	$D_{utilização}$	<b>120</b>
	$R_{utilização}$	<b>-4800</b>
	<b>b</b>	<b>0,375</b>

Apresenta-se na Figura 6.5 o perfil longitudinal referente ao Ramo A.

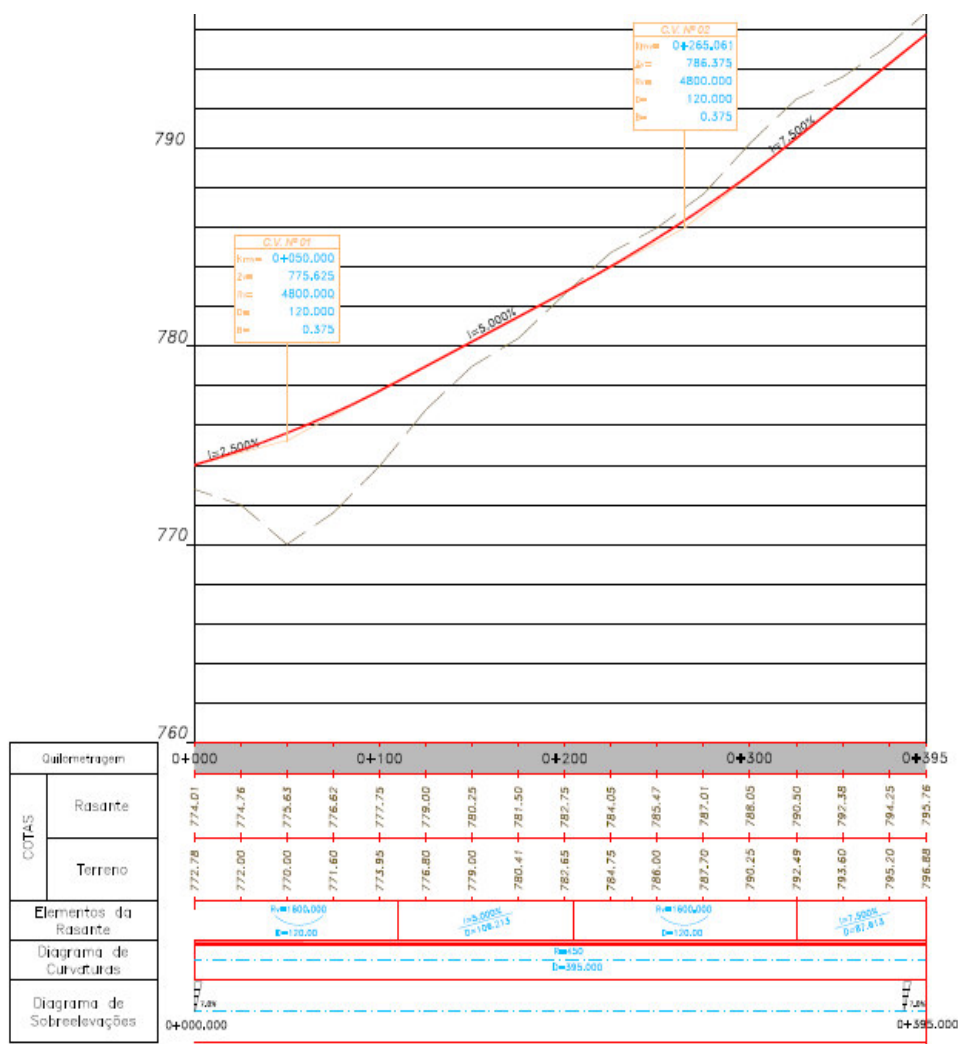


Figura 6.5 - Perfil Longitudinal do Ramo A

## 6.5 Perfil Transversal

Neste subcapítulo, é apresentado o perfil transversal tipo do Ramo A.

### 6.5.1 Ramo A

O perfil transversal do Ramo A, de acordo com a Figura 4.15 é constituído por 2,5 m de berma da direita, 4,0 m de faixa de rodagem e 1,0 m de berma da esquerda. Segundo a Tabela 4.10, a sobrelargura é de 0 m, logo a largura total é de 7,5 m.

O perfil transversal tipo do Ramo A ao quilómetro 0+125.000 apresenta-se na Figura 6.6 e ao longo da sua extensão pode estar em escavação ou aterro.

0+125.000

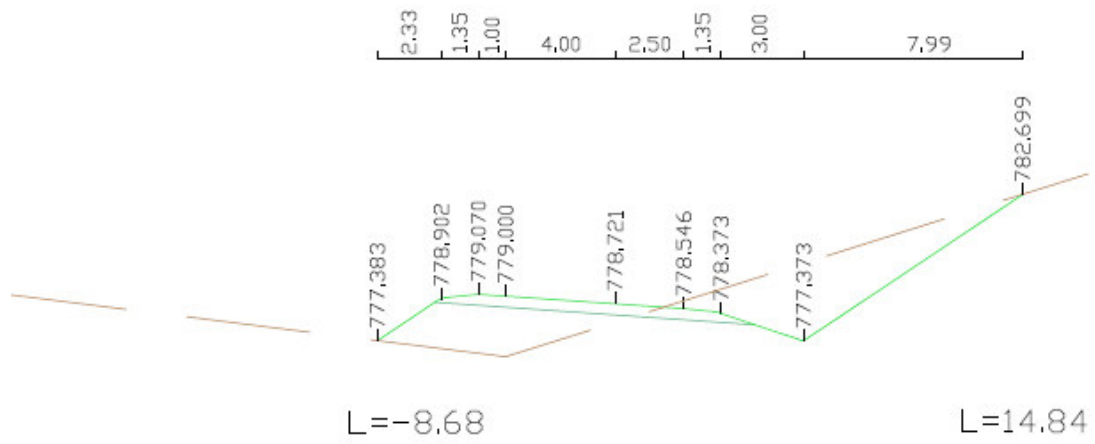


Figura 6.6 - Perfil Transversal do Ramo A



## **7 Conclusão**

### **7.1 Considerações Finais**

Ao longo deste trabalho, devido à falta de experiência na elaboração de projetos de vias de comunicação, enfrentaram-se algumas dificuldades relacionadas com a utilização do *software* “AutoCAD 2013”.

Na abordagem aos capítulos iniciais, as Normas de Traçado são uma fonte teórica essencial na elaboração deste projeto. Contudo, essas mesmas normas limitam a liberdade de estudo na definição em planta e no perfil longitudinal, sendo impossível em alguns casos, satisfazer as condicionantes normativas para essas situações. No capítulo 6 deste projeto, foi apresentada uma Memória Descritiva alargada, procurando-se transmitir as etapas efetuadas e as opções tomadas ao longo deste Projeto, sabendo que um projeto desta natureza não apresenta apenas uma única solução.

Pelo facto, considera-se que cumpriu os objetivos propostos para o projeto. As opções tomadas foram adequadas à situação, sendo possíveis alterações às mesmas, embora sempre condicionadas com a estrada nacional já existente como foi o caso dos ramos G e H.

O Nó de Ligação proposto neste projeto apresenta-se, comparativamente com o Nó de Ligação existente, com uma extensão inferior nos ramos unidirecionais, sendo de 1935.980m para o nó de ligação em trevo e de 2314.637m para o nó de ligação em duplo trompette. Deste modo a área de expropriação é significativamente menor, levando a que, em termos económicos, seja um nó mais vantajoso. Contudo para uma avaliação mais precisa deste parâmetro seria necessário um estudo e comparação de movimentos de terra uma vez que os custos destes movimentos poderão sobrepor-se aos da área de expropriação. Este tipo de nó de ligação dá mais garantias de segurança e conforto para os condutores.

Nos perfis transversais tipo dos ramos unidirecionais foram adotados os mesmos elementos, variando a sobrelevação e as inclinações. Face aos dados indisponíveis dos perfis longitudinais da estrada principal, a definição dos perfis longitudinais foi dificultada, não sendo, por isso, precisa.

Este trabalho foi realizado com o desenvolvimento e os conhecimentos adquiridos ao longo da sua execução, esperando, deste modo, que a experiência obtida possa de alguma forma contribuir para o desenvolvimento desta área. Toda a parte escrita neste projeto, é um complemento justificativo e de apoio à interpretação das peças desenhadas. O foco do resultado final deste projeto, encontra-se todo ele incluído nas plantas, perfis longitudinais e transversais contidos nos anexos.

### **7.2 Desenvolvimentos Futuros**

Demonstrou-se a versatilidade e a utilidade da utilização do nó de ligação em trevo completo baseados em cálculos e em tentativas com aproximação ao perfil da estrada principal e secundária já existentes.

As potencialidades evidenciadas na utilização deste nó de ligação não foram no entanto exploradas na sua totalidade. São muitos os aspetos ainda não contemplados neste projeto e que podem conduzir a uma melhoria no dimensionamento do nó de ligação.

Os desenvolvimentos previstos passam não só pela melhoria do traçado em planta, como também pelo estudo dos movimentos de terra a serem executados para a implantação deste tipo de nó de ligação. Os trabalhos a desenvolver no futuro poderão ser sumariamente descritos por:

- Estudar a continuação da estrada secundária, IC5, para norte, até Vila Pouca de Aguiar;
- Elaborar um método de ligação mais objetivo à estrada nacional 15, já existente.
- Melhoria das acessibilidades às localidades existentes no local.

## 8 Bibliografia

Coelho V.E.A., 2012. Projeto de Execução Geométrico de um Nó em Meio-Trevo. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Dissertação de Mestrado).

Miranda N.M.C., 2013. Projeto Geométrico de um Nó de Ligação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. (Dissertação de Mestrado).

Fragata J.P.C., 2008. Projeto de Execução de um Nó de Ligação em Trompete nas Especialidades de Geometria do Traçado e Pavimentação.

Pereira P.P., 2014. Parte I - Traçado em Planta. Instituto Superior Técnico.

Costa C. & Neves M., 2010. Projeto de Execução. Nós de Ligação. Nó de Pópulo. AutoEstradas XXI, Transmontana.

CMA – Câmara Municipal de Alijó, 2014. In: <http://www.cm-alijo.pt/>. (Consultado em Agosto de 2014).

Narciso A.P.B., 2010. Relatório do Diagnóstico Social de Alijó. Rede Social de Alijó. Câmara Municipal de Alijó.

França, A.Q.S., 1995. Sebenta de Vias de Comunicação I. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

França, A.Q.S., 1995. Sebenta de Vias de Comunicação II. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

INIR – Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, IP, 2011. Relatório de Tráfego na Rede Nacional de Autoestradas. In: <http://www.inir.pt>. (Consultado em Agosto de 2014)

JAЕ – Junta Autónoma das Estradas, 1993. Norma de Nós de Ligação.

JAЕ – Junta Autónoma das Estradas, 1992. Normas de Traçado.

JAЕ – Junta Autónoma das Estradas, 1993. Norma de Interseções.

Apontamentos da disciplina de Vias de Comunicação Acessível. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Notícias de Vila Real, 2010. In: <http://www.noticiasdevilareal.com>. (Consultado em Agosto 2014).

Santos, L.P., 2012. Apontamentos de Vias de Comunicação. Instituto Superior Técnico.



## **Anexos**



## **Anexo 1**

### 1. Pormenores de Cálculo

- 1.1. Dimensionamento
- 1.2. Piquetagem
- 1.3. Traçado em Planta
- 1.4. Perfis Longitudinais
- 1.5. Perfis Transversais



1.1. Dimensionamento

<b>Ramo A - Curva 5</b>		
<b>Raio (R)</b>	120	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	0	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	60	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,01	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	0,96	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	2,18	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	86,576	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	40	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	30,741	51,9615
<b>Condição estética</b>	63,246	
<b>Condição implantação</b>	177,178	
<b>Condição desejável das normas</b>	102,294	125,284
<b>Intervalo da clotóide</b>	[102,294;125,284]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	120	
<b>Curva de Transição (L)</b>	120	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,500	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha'</math>)</b>	1,180	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	141,6	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,136	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	56	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAIOS</b>	OK	

<b>Ramo B - Curva 6</b>		
<b>Raio (R)</b>	450	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	0	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	60	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,01	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	0,96	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	2,18	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	86,576	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	40	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	30,741	51,9615
<b>Condição estética</b>	63,246	
<b>Condição implantação</b>	177,178	
<b>Condição desejável das normas</b>	102,294	125,284
<b>Intervalo da clotóide</b>	[102,294;125,284]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	120	
<b>Curva de Transição (L)</b>	120	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,500	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha</math>)</b>	1,180	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	141,6	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,136	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	56	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

Ramo C - Curva 1		
Raio (R)	70	
Sobreelevação (Se)	0,07	
Sobrelarguras (Sl)	1,143	
Velocidade Base (VB)	45	
$\Delta i$ máx	0,01	
$\Delta i$ mín	0,0035	
Sobreaceleração normal (J)	0,5	
inclinação (i) - Pav. Betuminoso	0,025	
Ângulo dos alinhamentos ( $\beta$ rad)	1,33	
ângulo de desvio ( $\Omega$ rad)	1,82	
Largura da faixa de rodagem (a)	3,5	
Condição dinâmica	55,987	
Condição de comodidade óptica	23,333	
Condição disfarçe sobrelevação	23,479	39,686
Condição estética	41,833	
Condição implantação	94,435	
Condição desejável das normas	54,522	66,776
Intervalo da clotóide	[55,98;66,78]	
Parâmetro da Clotóide (A)	65	
Curva de Transição (L)	60,357	
Ângulo $\tau$ (tau)	0,431	
Ângulo ao centro ( $\alpha'$ )	0,958	
Desenvolvimento da estrada em curva (d)	67,043	
ft - coef aderência transversal	0,156	
Derrapagem para o exterior	45	
VERIFICAÇÃO DO RAI0	OK	

<b>Ramo D - Curva 2</b>		
<b>Raio (R)</b>	70	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	1,143	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	45	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,01	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	1,33	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	1,82	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	55,987	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	23,333	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	23,479	39,686
<b>Condição estética</b>	41,833	
<b>Condição implantação</b>	94,435	
<b>Condição desejável das normas</b>	54,522	66,776
<b>Intervalo da clotóide</b>	[55,98;66,78]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	65	
<b>Curva de Transição (L)</b>	60,357	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,431	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha'</math>)</b>	0,958	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	67,043	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,156	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	45	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

<b>Ramo E - Curva 3</b>		
<b>Raio (R)</b>	70	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	1,143	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	45	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,01	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	1,33	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	1,82	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	55,987	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	23,333	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	23,479	39,686
<b>Condição estética</b>	41,833	
<b>Condição implantação</b>	94,435	
<b>Condição desejável das normas</b>	54,522	66,776
<b>Intervalo da clotóide</b>	[55,98;66,78]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	65	
<b>Curva de Transição (L)</b>	60,357	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,431	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha</math>)</b>	0,958	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	67,043	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,156	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	45	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

<b>Ramo F - Curva 4</b>		
<b>Raio (R)</b>	70	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	1,143	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	45	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,01	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	1,33	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	1,82	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	55,987	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	23,333	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	23,479	39,686
<b>Condição estética</b>	41,833	
<b>Condição implantação</b>	94,435	
<b>Condição desejável das normas</b>	54,522	66,776
<b>Intervalo da clotóide</b>	[55,98;66,78]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	65	
<b>Curva de Transição (L)</b>	60,357	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,431	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha'</math>)</b>	0,958	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	67,043	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,156	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	45	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

<b>Ramo G - Curvas 7 e 8</b>		
<b>Raio (R)</b>	80	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	1,000	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	45	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,8	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	0,98	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	2,16	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	54,994	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	26,667	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	2,806	42,426
<b>Condição estética</b>	44,721	
<b>Condição implantação</b>	117,576	
<b>Condição desejável das normas</b>	67,882	83,138
<b>Intervalo da clotóide</b>	[67,88;83,14]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	80	
<b>Curva de Transição (L)</b>	80,000	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,500	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha'</math>)</b>	1,160	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	92,800	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,156	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	48	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

Ramo G - Curva 9		
Raio (R)	55	
Sobreelevação (Se)	0,07	
Sobrelarguras (Sl)	1,455	
Velocidade Base (VB)	40	
$\Delta i$ máx	0,01	
$\Delta i$ mín	0,0035	
Sobreaceleração normal (J)	0,5	
inclinação (i) - Pav. Betuminoso	0,025	
Ângulo dos alinhamentos ( $\beta$ rad)	0,96	
ângulo de desvio ( $\Omega$ rad)	2,18	
Largura da faixa de rodagem (a)	3,5	
Condição dinâmica	46,952	
Condição de comodidade óptica	18,333	
Condição disfarçe sobrelevação	20,812	35,178
Condição estética	34,960	
Condição implantação	81,207	
Condição desejável das normas	46,885	57,422
Intervalo da clotóide	[46,95;57,42]	
Parâmetro da Clotóide (A)	55	
Curva de Transição (L)	55,000	
Ângulo $\tau$ (tau)	0,500	
Ângulo ao centro ( $\alpha'$ )	1,180	
Desenvolvimento da estrada em curva (d)	64,900	
ft - coef aderência transversal	0,154	
Derrapagem para o exterior	40	
VERIFICAÇÃO DO RAI0	OK	

<b>Ramo H - Curvas 11 e 12</b>		
<b>Raio (R)</b>	80	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	1,000	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	45	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,8	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	0,98	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	2,16	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	54,994	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	26,667	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	2,806	42,426
<b>Condição estética</b>	44,721	
<b>Condição implantação</b>	117,576	
<b>Condição desejável das normas</b>	67,882	83,138
<b>Intervalo da clotóide</b>	[67,88;83,14]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	80	
<b>Curva de Transição (L)</b>	80,000	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,500	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha'</math>)</b>	1,160	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	92,800	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,156	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	48	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

<b>Ramo H - Curva 10</b>		
<b>Raio (R)</b>	55	
<b>Sobreelevação (Se)</b>	0,07	
<b>Sobrelarguras (Sl)</b>	1,455	
<b>Velocidade Base (VB)</b>	40	
<b><math>\Delta i</math> máx</b>	0,01	
<b><math>\Delta i</math> mín</b>	0,0035	
<b>Sobreaceleração normal (J)</b>	0,5	
<b>inclinação (i) - Pav. Betuminoso</b>	0,025	
<b>Ângulo dos alinhamentos (<math>\beta</math>rad)</b>	0,96	
<b>ângulo de desvio (<math>\Omega</math>rad)</b>	2,18	
<b>Largura da faixa de rodagem (a)</b>	3,5	
<b>Condição dinâmica</b>	46,952	
<b>Condição de comodidade óptica</b>	18,333	
<b>Condição disfarçe sobrelevação</b>	20,812	35,178
<b>Condição estética</b>	34,960	
<b>Condição implantação</b>	81,207	
<b>Condição desejável das normas</b>	46,885	57,422
<b>Intervalo da clotóide</b>	[46,95;57,42]	
<b>Parâmetro da Clotóide (A)</b>	55	
<b>Curva de Transição (L)</b>	55,000	
<b>Ângulo <math>\tau</math> (tau)</b>	0,500	
<b>Ângulo ao centro (<math>\alpha'</math>)</b>	1,180	
<b>Desenvolvimento da estrada em curva (d)</b>	64,900	
<b>ft - coef aderência transversal</b>	0,154	
<b>Derrapagem para o exterior</b>	40	
<b>VERIFICAÇÃO DO RAI0</b>	OK	

1.2. Piquetagem

A	Curva 1		
65	L	x	y
	0	0	0
	25	24,986	0,616
	50	49,562	4,931
	60,357	59,235	8,674

A	Curva 2		
65	L	x	y
	0	0	0
	25	24,986	0,616
	50	49,562	4,931
	60,357	59,235	8,674

A	Curva 3		
65	L	x	y
	0	0	0
	25	24,986	0,616
	50	49,562	4,931
	60,357	59,235	8,674

A	Curva 4		
65	L	x	y
	0	0	0
	25	24,986	0,616
	50	49,562	4,931
	60,357	59,235	8,674

A	Curva 6		
465	L	x	y
	0	0	0
	25	25,000	0,012
	50	50,000	0,096
	75	74,999	0,325
	100	99,995	0,771
	125	124,984	1,505
	150	149,959	2,601
	175	174,912	4,131
	200	199,829	6,166
	225	224,692	8,780
	250	249,478	12,044
	275	274,159	16,030
	300	298,701	20,812
	325	323,061	26,460
	350	347,192	33,048
	375	371,035	40,648
	400	394,524	49,331
	425	417,586	59,171
	450	440,133	70,239
475	462,070	82,608	
480,5	466,804	85,511	

A	Curva 7		
80	L	x	y
	0	0	0
	25	24,994	0,407
	50	49,809	3,255
	75	73,552	10,986
	80	78,000	13,333

A	Curva 8		
80	L	x	y
	0	0	0
	25	24,994	0,407
	50	49,809	3,255
	75	73,552	10,986
	80	78,000	13,333

A	Curva 11		
80	L	x	y
	0	0	0
	25	24,994	0,407
	50	49,809	3,255
	75	73,552	10,986
	80	78,000	13,333

A	Curva 12		
80	L	x	y
	0	0	0
	25	24,994	0,407
	50	49,809	3,255
	75	73,552	10,986
	80	78,000	13,333

A	Curva 10		
55	L	x	y
	0	0	0
	25	24,973	0,861
	50	49,146	6,887
	55	53,625	9,167

### 1.3. Traçado em Planta

<b>Curva 1</b>	
<b>X</b>	59,235
<b>Y</b>	8,674
<b><math>\tau</math></b>	0,431
<b><math>\Omega</math></b>	1,820
<b>A</b>	65,000
<b>L</b>	60,357
<b>R</b>	70,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	29,992
<b><math>\Delta R</math></b>	2,168
<b>TV</b>	92,835
<b>TL</b>	40,378
<b>TK</b>	20,756

<b>Curva 2</b>	
<b>X</b>	59,235
<b>Y</b>	8,674
<b><math>\tau</math></b>	0,431
<b><math>\Omega</math></b>	1,820
<b>A</b>	65,000
<b>L</b>	60,357
<b>R</b>	70,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	29,992
<b><math>\Delta R</math></b>	2,168
<b>TV</b>	92,835
<b>TL</b>	40,378
<b>TK</b>	20,756

<b>Curva 3</b>	
<b>X</b>	59,235
<b>Y</b>	8,674
<b><math>\tau</math></b>	0,431
<b><math>\Omega</math></b>	1,820
<b>A</b>	65,000
<b>L</b>	60,357
<b>R</b>	70,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	29,992
<b><math>\Delta R</math></b>	2,168
<b>TV</b>	92,835
<b>TL</b>	40,378
<b>TK</b>	20,756

<b>Curva 4</b>	
<b>X</b>	59,235
<b>Y</b>	8,674
<b><math>\tau</math></b>	0,431
<b><math>\Omega</math></b>	1,820
<b>A</b>	65,000
<b>L</b>	60,357
<b>R</b>	70,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	29,992
<b><math>\Delta R</math></b>	2,168
<b>TV</b>	92,835
<b>TL</b>	40,378
<b>TK</b>	20,756

<b>Curva 5</b>	
<b>X</b>	466,804
<b>Y</b>	85,511
<b><math>\tau</math></b>	0,534
<b><math>\Omega</math></b>	2,180
<b>A</b>	465,000
<b>L</b>	480,500
<b>R</b>	450,000
<b>Xm = OT</b>	237,967
<b><math>\Delta R</math></b>	21,378
<b>TV</b>	903,675
<b>TL</b>	322,152
<b>TK</b>	168,036

<b>Curva 6</b>	
<b>X</b>	466,804
<b>Y</b>	85,511
<b><math>\tau</math></b>	0,534
<b><math>\Omega</math></b>	2,180
<b>A</b>	465,000
<b>L</b>	480,500
<b>R</b>	450,000
<b>Xm = OT</b>	237,967
<b><math>\Delta R</math></b>	21,378
<b>TV</b>	903,675
<b>TL</b>	322,152
<b>TK</b>	168,036

<b>Curva 7</b>	
<b>X</b>	78,000
<b>Y</b>	13,333
<b><math>\tau</math></b>	0,500
<b><math>\Omega</math></b>	2,160
<b>A</b>	80,000
<b>L</b>	80,000
<b>R</b>	80,000
<b>Xm = OT</b>	39,667
<b><math>\Delta R</math></b>	3,333
<b>TV</b>	155,935
<b>TL</b>	53,593
<b>TK</b>	27,811

<b>Curva 8</b>	
<b>X</b>	78,000
<b>Y</b>	13,333
<b><math>\tau</math></b>	0,500
<b><math>\Omega</math></b>	2,160
<b>A</b>	80,000
<b>L</b>	80,000
<b>R</b>	80,000
<b>Xm = OT</b>	39,667
<b><math>\Delta R</math></b>	3,333
<b>TV</b>	155,935
<b>TL</b>	53,593
<b>TK</b>	27,811

<b>Curva 9</b>	
<b>X</b>	53,625
<b>Y</b>	9,167
<b><math>\tau</math></b>	0,500
<b><math>\Omega</math></b>	2,180
<b>A</b>	55,000
<b>L</b>	55,000
<b>R</b>	55,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	27,271
<b><math>\Delta R</math></b>	2,292
<b>TV</b>	109,833
<b>TL</b>	36,846
<b>TK</b>	19,120

<b>Curva 10</b>	
<b>X</b>	53,625
<b>Y</b>	9,167
<b><math>\tau</math></b>	0,500
<b><math>\Omega</math></b>	2,180
<b>A</b>	55,000
<b>L</b>	55,000
<b>R</b>	55,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	27,271
<b><math>\Delta R</math></b>	2,292
<b>TV</b>	109,833
<b>TL</b>	36,846
<b>TK</b>	19,120

<b>Curva 11</b>	
<b>X</b>	78,000
<b>Y</b>	13,333
<b><math>\tau</math></b>	0,500
<b><math>\Omega</math></b>	2,160
<b>A</b>	80,000
<b>L</b>	80,000
<b>R</b>	80,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	39,667
<b><math>\Delta R</math></b>	3,333
<b>TV</b>	155,935
<b>TL</b>	53,593
<b>TK</b>	27,811

<b>Curva 12</b>	
<b>X</b>	78,000
<b>Y</b>	13,333
<b><math>\tau</math></b>	0,500
<b><math>\Omega</math></b>	2,160
<b>A</b>	80,000
<b>L</b>	80,000
<b>R</b>	80,000
<b>X<sub>m</sub> = OT</b>	39,667
<b><math>\Delta R</math></b>	3,333
<b>TV</b>	155,935
<b>TL</b>	53,593
<b>TK</b>	27,811

1.4. Perfis Longitudinais

Ramo A	
0	772,78
25	772,00
50	770,00
75	771,60
100	773,95
125	776,80
150	779,00
175	780,41
200	782,65
225	784,75
250	786,00
275	787,70
300	790,25
325	792,49
350	793,60
375	795,20
395	796,88

Ramo B	
0	765,40
25	766,72
50	769,21
75	773,80
100	777,75
125	780,34
150	782,62
175	784,39
200	784,15
225	785,00
250	786,21
275	786,31
300	786,44
325	788,05
350	791,60
375	794,30
414.877	795,29

Ramo C	
0	783,00
25	782,83
50	782,89
75	782,10
100	779,65
125	777,85
150	776,00
175	775,80
198.472	775,00

Ramo D	
0	782,90
25	782,32
50	782,00
75	782,00
100	777,80
125	775,82
150	775,00
175	774,52
185.675	773,80

Ramo E	
0	775,38
25	775,06
50	774,58
75	774,28
100	774,07
125	773,23
150	774,40
175	774,80
186.594	776,50

Ramo F	
0	773,49
25	773,69
50	772,91
75	774,00
100	776,00
125	775,20
150	775,70
175	775,85
178.872	775,85

Ramo G	
0	773,00
25	774,10
50	774,30
75	774,30
100	771,73
125	772,28
150	772,16
175	773,60
200	774,00
225	774,00
<b>237.977</b>	774,00

Ramo H	
0	770,41
25	771,90
50	771,75
75	773,90
100	775,14
125	774,85
150	774,16
175	774,89
200	772,30
<b>210.698</b>	772,30

Ramo A		
1º tranel	VB	60
	Rmin	-1600
	i1	0,025
	i2	0,05
	D	40
	<b>Dutilização</b>	120
	<b>Rutilização</b>	-4800
	<b>b</b>	0,375
2º tranel	VB	60
	Rmin	-1600
	i1	0,05
	i2	0,075
	D	40
	<b>Dutilização</b>	120
	<b>Rutilização</b>	-4800
	<b>b</b>	0,375

Ramo B		
1º tranel	VB	60
	Rmin	-1600
	i1	0,05
	i2	0,07
	D	32
	<b>Dutilização</b>	120
	<b>Rutilização</b>	-6000
	<b>b</b>	0,300
2º tranel	VB	60
	Rmin	3000
	i1	0,07
	i2	0,025
	D	135
	<b>Dutilização</b>	135
	<b>Rutilização</b>	3000,00
	<b>b</b>	-0,759

		<b>Ramo C</b>	
<b>1° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	1800	
	i1	-0,025	
	i2	-0,05	
	D	45	
	<b>Dutilização</b>	60	
	<b>Rutilização</b>	2400	
	<b>b</b>	-0,188	
<b>2° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	-1000	
	i1	-0,05	
	i2	-0,025	
	D	25	
	<b>Dutilização</b>	60	
	<b>Rutilização</b>	-2400,00	
	<b>b</b>	0,188	

		<b>Ramo D</b>	
<b>1° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	1800	
	i1	-0,02	
	i2	-0,05	
	D	54	
	<b>Dutilização</b>	60	
	<b>Rutilização</b>	2000	
	<b>b</b>	-0,225	

		<b>Ramo E</b>	
<b>1° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	-1000	
	i1	-0,015	
	i2	0,025	
	D	40	
	<b>Dutilização</b>	60	
	<b>Rutilização</b>	-1500	
	<b>b</b>	0,300	

		<b>Ramo F</b>	
<b>1° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	1800	
	i1	0,015	
	i2	-0,01	
	D	45	
	<b>Dutilização</b>	60	
	<b>Rutilização</b>	2400	
	<b>b</b>	-0,188	

		<b>Ramo G</b>	
<b>1° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	-1000	
	i1	-0,01	
	i2	0,015	
	D	25	
	<b>Dutilização</b>	60	
	<b>Rutilização</b>	-2400	
	<b>b</b>	0,188	
	<b>2° tranel</b>	VB	45
Rmin		1800	
i1		0,015	
i2		-0,005	
D		36	
<b>Dutilização</b>		60	
<b>Rutilização</b>		3000	
<b>b</b>		-0,150	

		<b>Ramo H</b>	
<b>1° tranel</b>	VB	45	
	Rmin	1800	
	i1	0,04	
	i2	-0,015	
	D	99	
	<b>Dutilização</b>	100	
	<b>Rutilização</b>	1818,18	
	<b>b</b>	-0,688	

1.5. Perfis Transversais

Ramo A			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
788	35,77	73,8	786
790	182,83	149,73	784

Ramo B			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
786	7,27	79,15	786
784	20,80	113,16	784

Ramo C			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
784	17,66	14,97	782
786	45,96	27,66	780

Ramo D			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
784	28,70	6,74	782
786	69,34	21,71	782

Ramo E			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
774	7,27	40,82	776
772	21,96	63,40	778

Ramo F			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
776	7,01	0,49	776
774	7,25	9,87	774

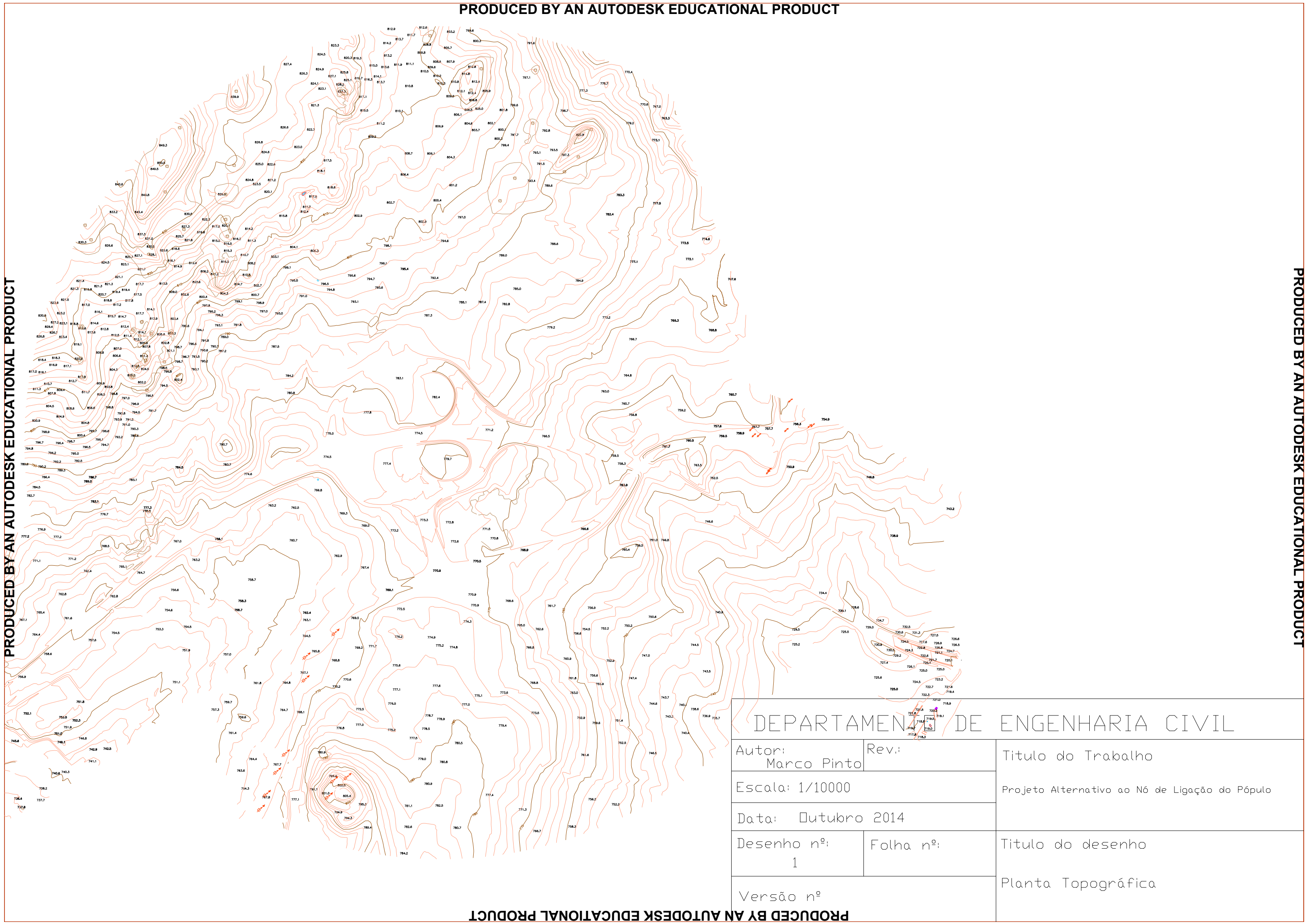
Ramo G			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
774	16,49	1,20	772
776	48,05	15,17	770

Ramo H			
C.N.	Esquerda	Direita	C.N.
772	2,24	9,31	772
774	19,21	11,16	774

## **Anexo 2**

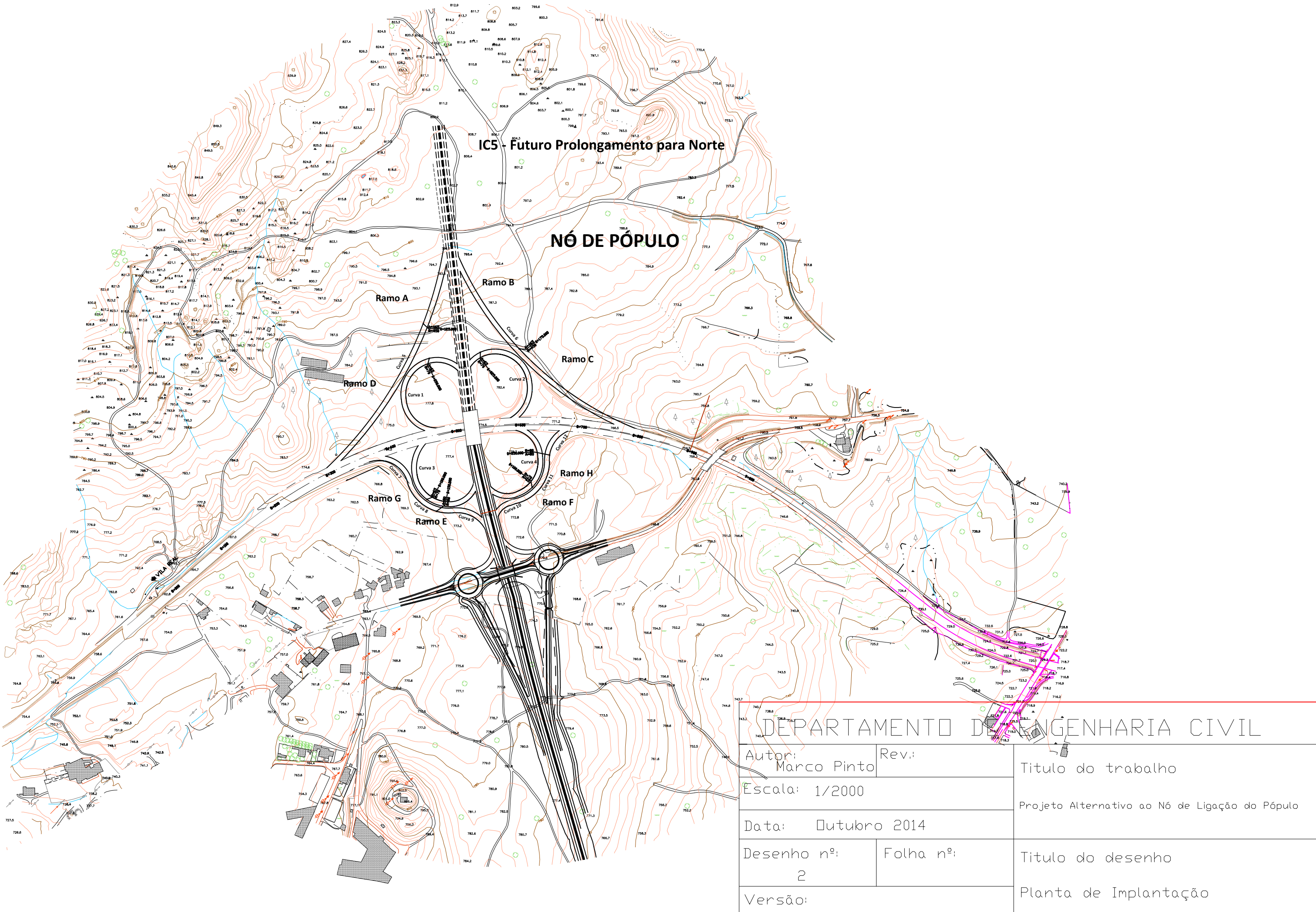
1. Planta Topográfica
2. Planta de Implantação
3. Planta A4/IC5
4. Perfis Longitudinais
5. Perfis Transversais





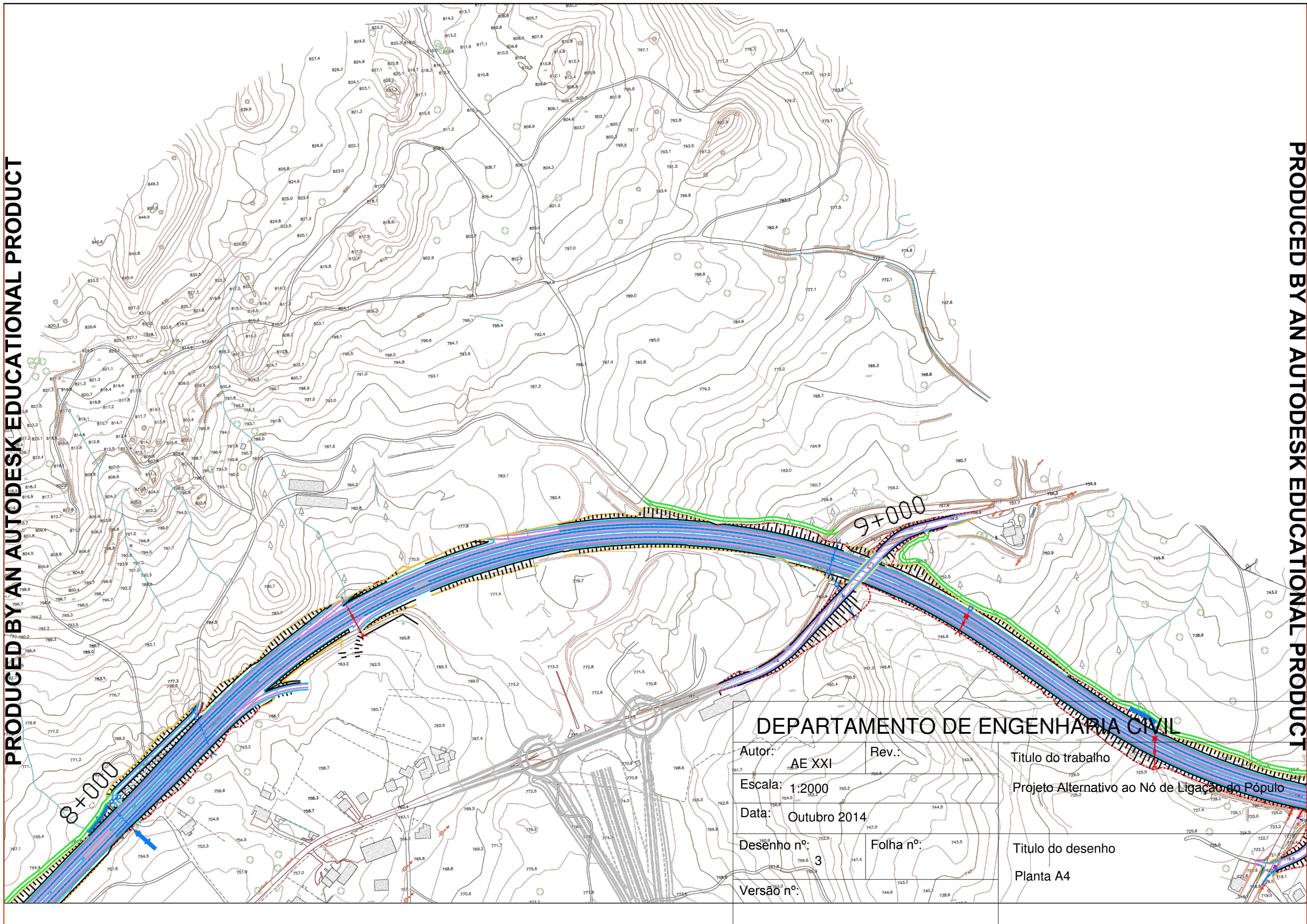
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev:	Titulo do Trabalho
Escala: 1/10000		Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Póculo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 1	Folha nº:	Titulo do desenho
Versão nº		Planta Topográfica





DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho
Escala: 1/2000		Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 2	Folha nº:	Titulo do desenho
Versão:		Planta de Implantação





PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

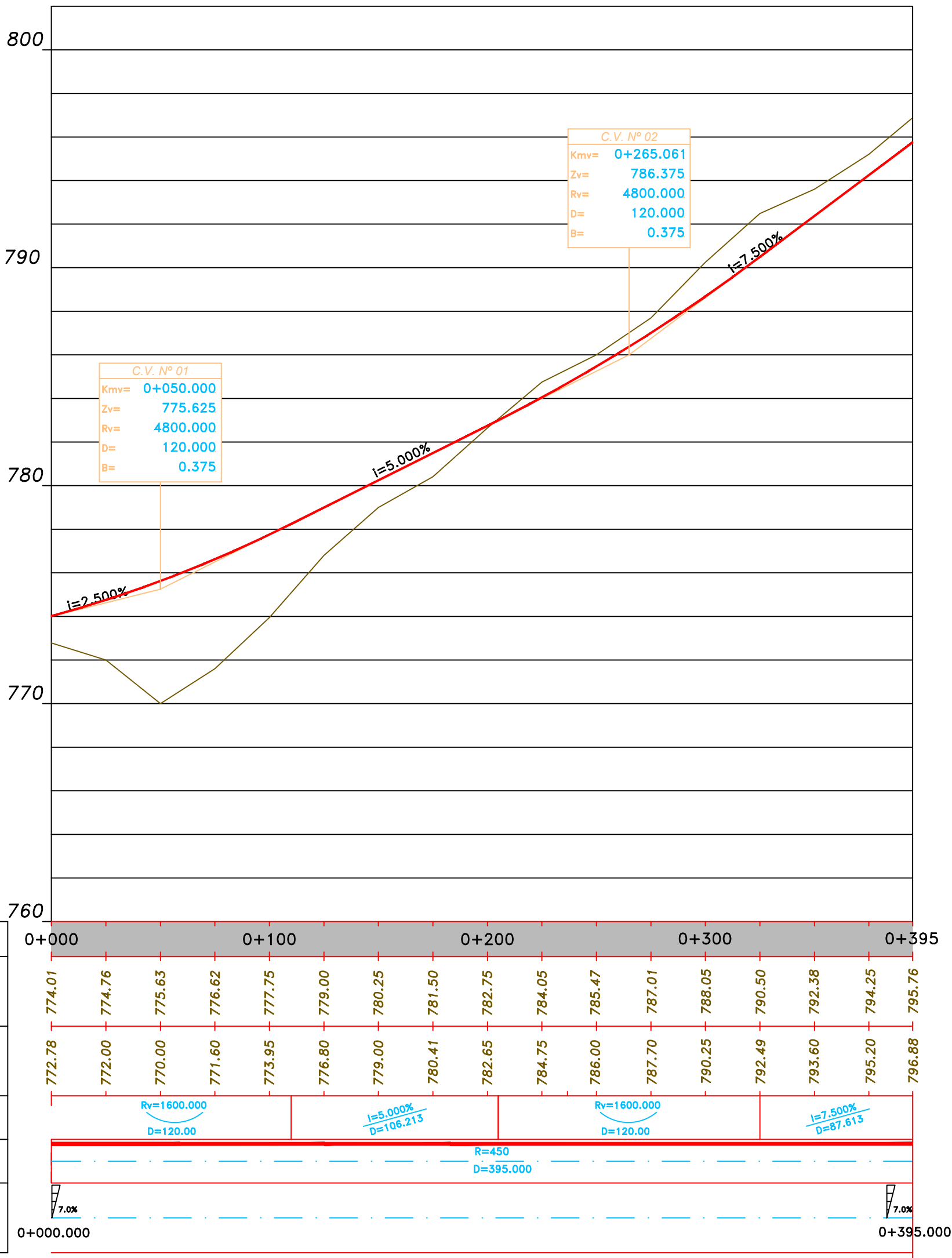
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



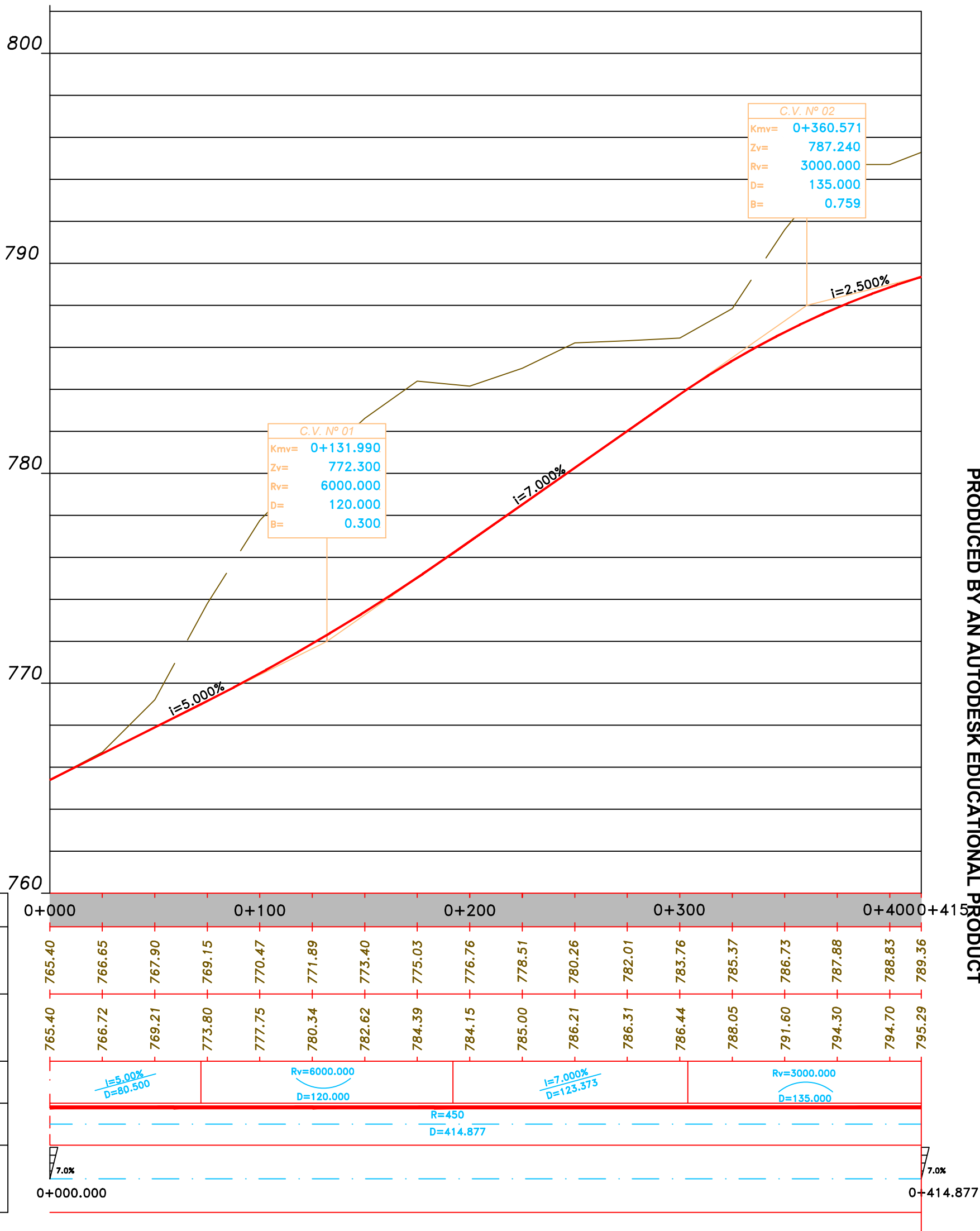
Ramo A



COTAS	Quilometragem	0+000	0+100	0+200	0+300	0+395												
	Rasante	774.01	774.76	775.63	776.62	777.75	779.00	780.25	781.50	782.75	784.05	785.47	787.01	788.05	790.50	792.38	794.25	795.76
	Terreno	772.78	772.00	770.00	771.60	773.95	776.80	779.00	780.41	782.65	784.75	786.00	787.70	790.25	792.49	793.60	795.20	796.88
Elementos da Rasante		Rv=1600.000 D=120.00			i=5.000% D=106.213			Rv=1600.000 D=120.00			i=7.500% D=87.613							
Diagrama de Curvaturas					R=450 D=395.000													
Diagrama de Sobrelevações		7.0%																

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:
Escala: V:1/20 H:1/200		Projeto Alternativo ao N6 de Ligação do Póculo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 4	Folha nº:	Titulo do desenho:
Versão:		Perfil Longitudinal Ramo A

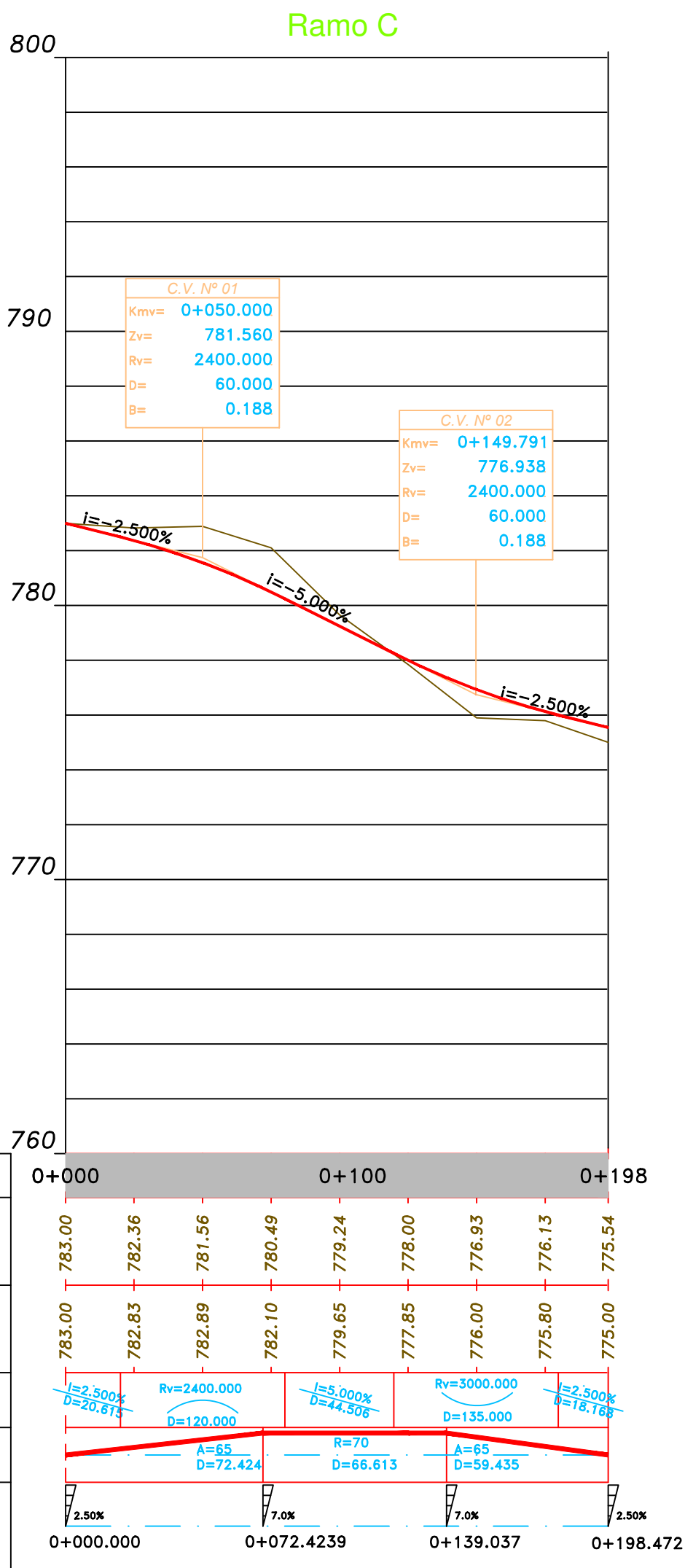
Ramo B



Quilometragem	
COTAS	Rasante
	Terreno
Elementos da Rasante	
Diagrama de Curvaturas	
Diagrama de Sobre elevações	

0+000	0+100	0+200	0+300	0+400	0+415
765.40	766.65	767.90	769.15	770.47	771.89
766.72	769.21	773.80	777.75	780.34	782.62
773.80	777.75	780.34	782.62	784.39	784.15
784.39	784.15	785.00	786.21	786.31	786.44
786.44	788.05	791.60	794.30	794.70	794.70
794.70	795.29	795.29	795.29	795.29	795.29

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:
Escala: V:1/20 H:1/200		Projeto Alternativo ao N6 de Ligação do Pópulo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 5	Folha nº:	Titulo do desenho:
Versão:		Perfil Longitudinal Ramo B



## DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Autor: Marco Pinto

Rev.:

Titulo do trabalho:

Escala: V:1/20 H:1/200

Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo

Data: Outubro 2014

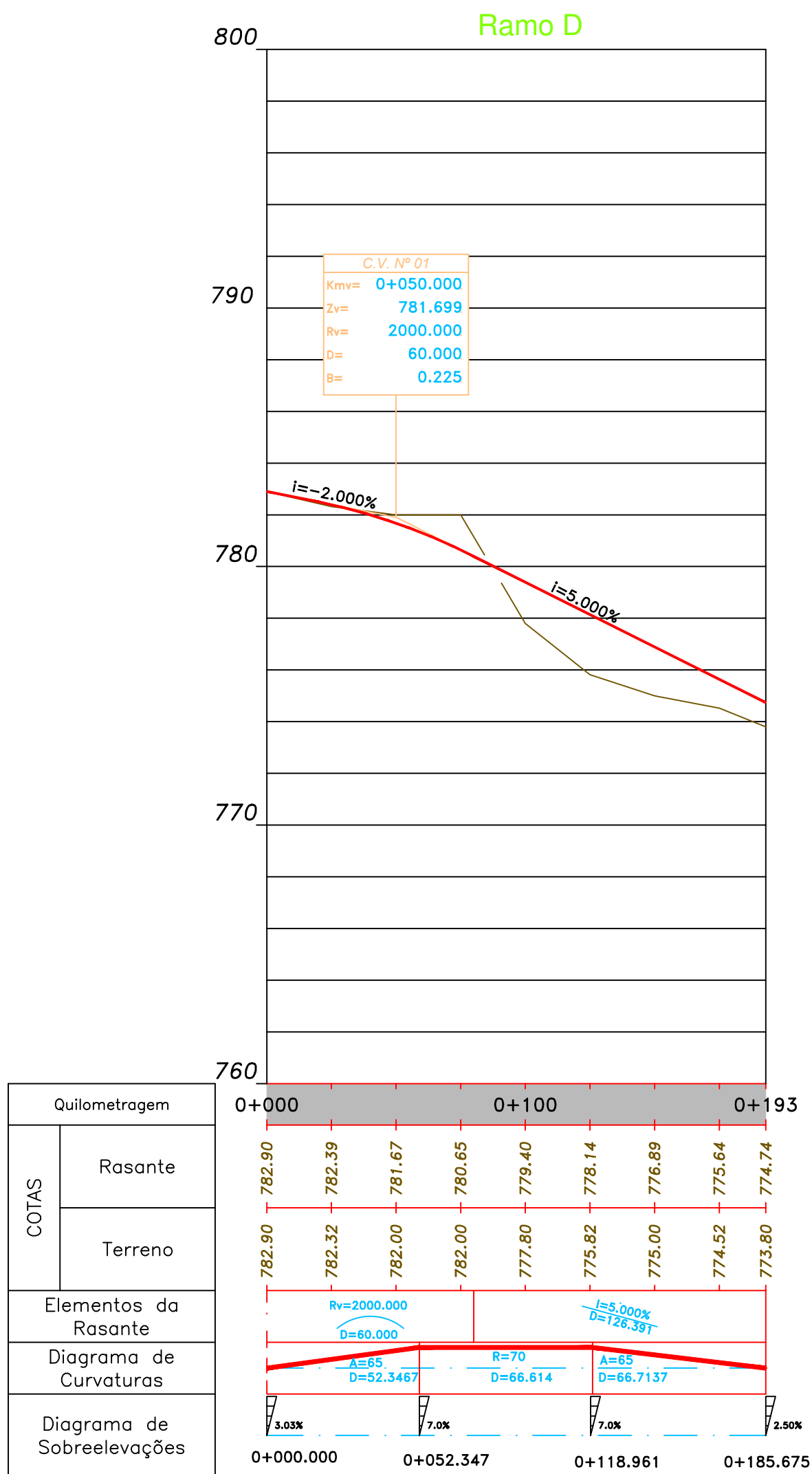
Desenho nº:  
6

Folha nº:

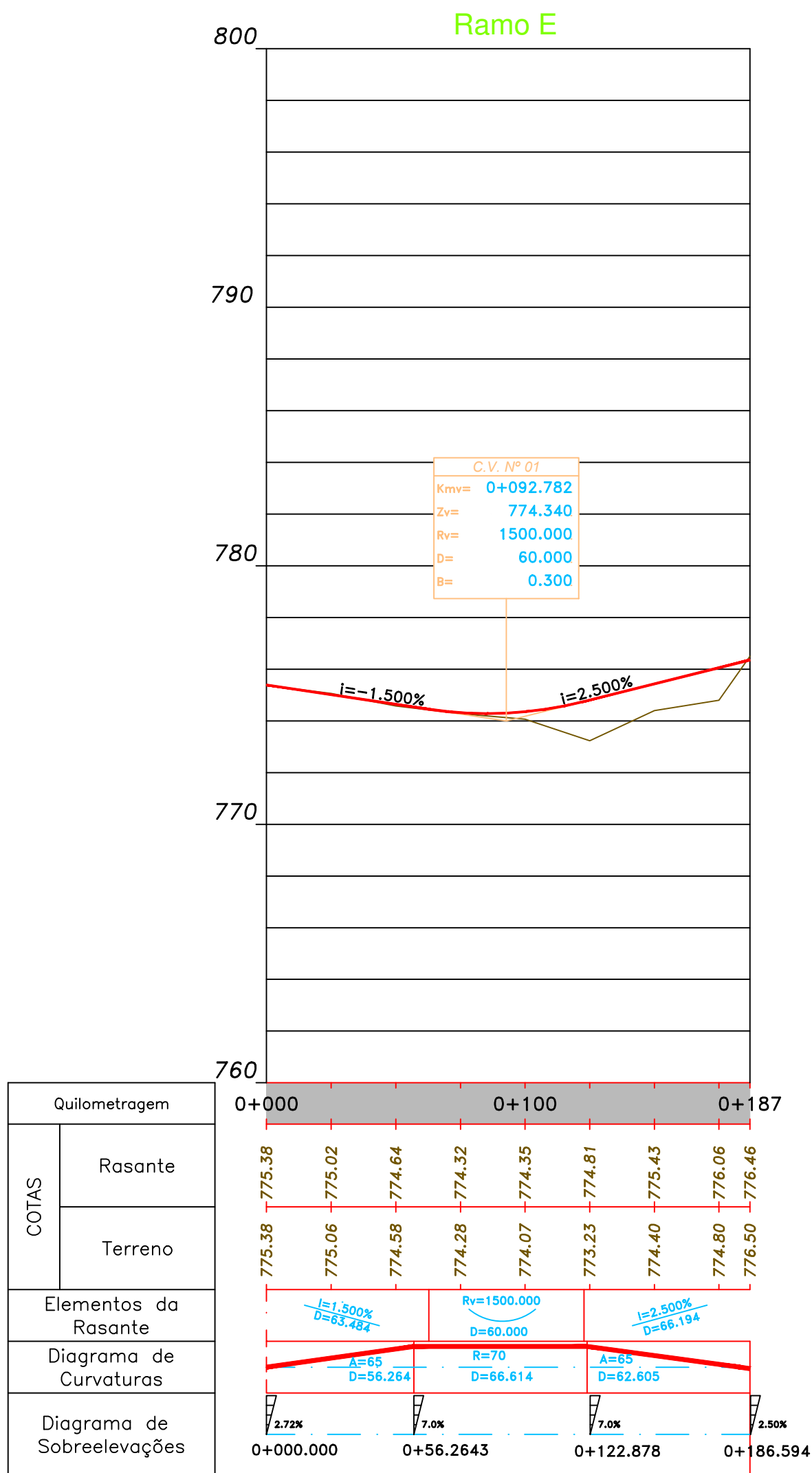
Titulo do desenho:

Versão:

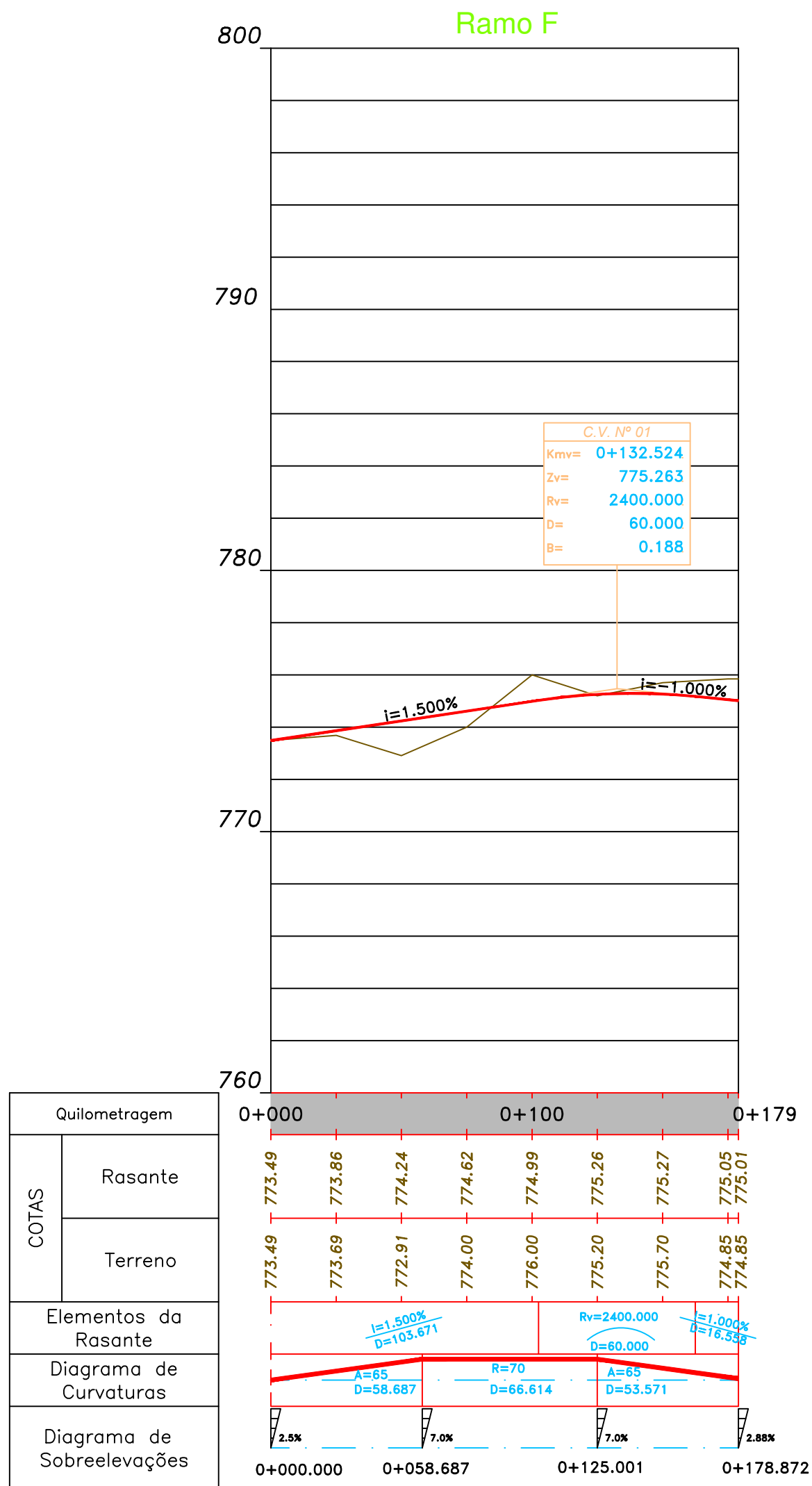
Perfil Longitudinal Ramo C



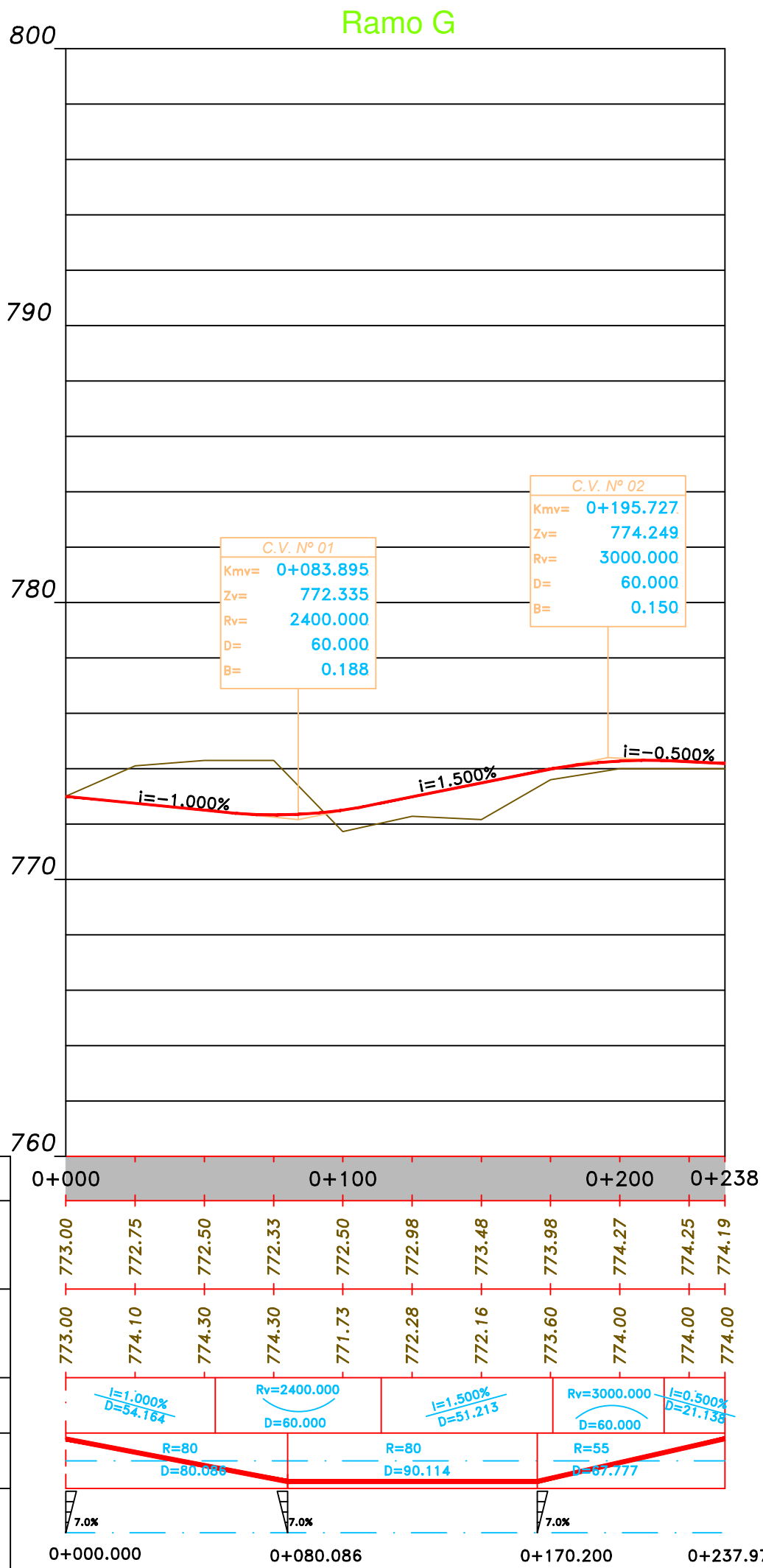
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:
Escala:    V:1/20    H:1/200		Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Data:      Outubro 2014		
Desenho nº: 7	Folha nº:	Titulo do desenho:
Versão:		Perfil Longitudinal Ramo D



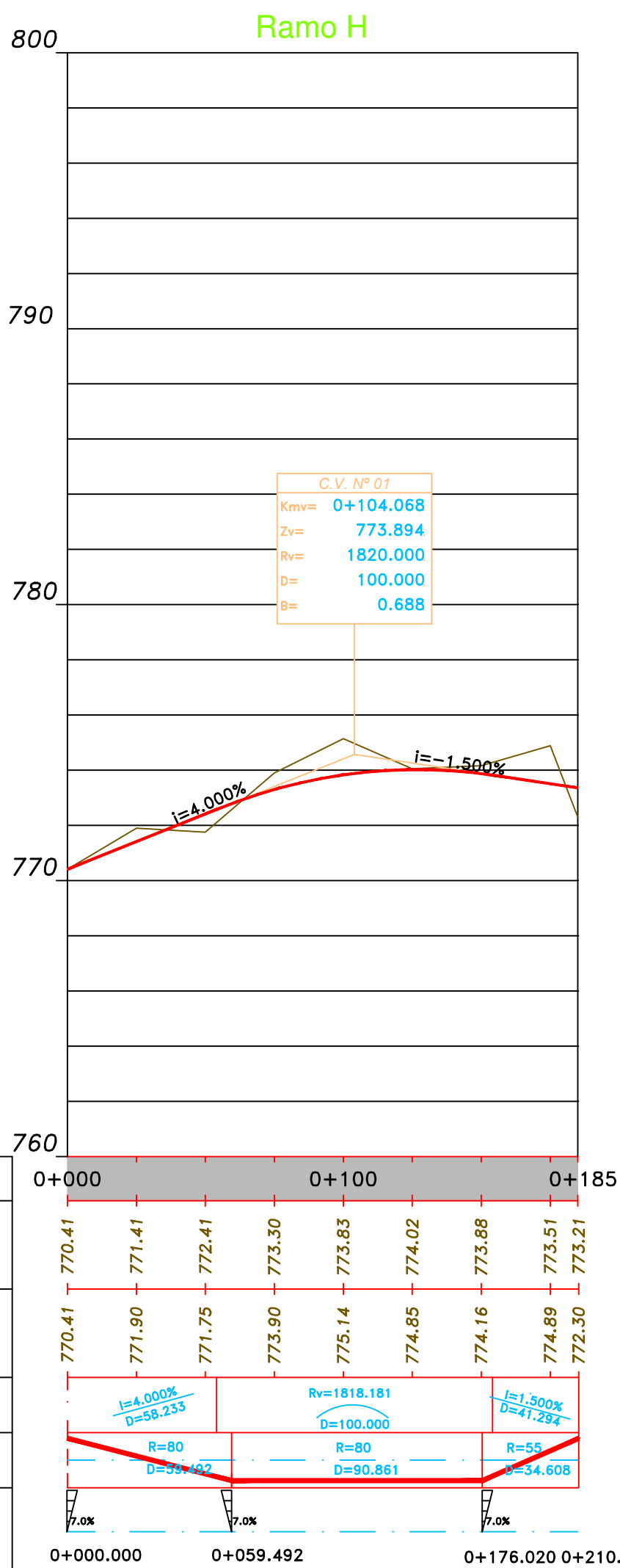
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:
Escala: V:1/20 H:1/200		Projeto Alternativo ao N6 de Ligação do Pópulo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 8	Folha nº:	Titulo do desenho:
Versão:		Perfil Longitudinal Ramo E



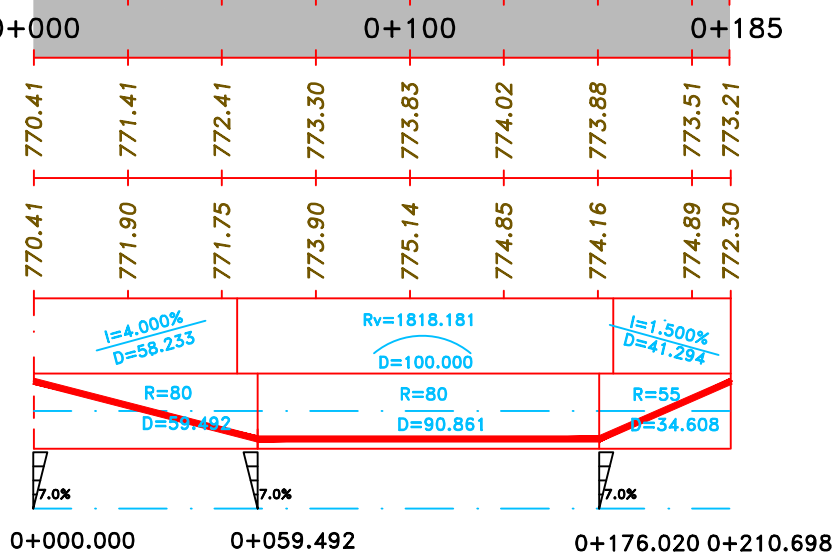
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:
Escala: V:1/20 H:1/200		Projeto Alternativo ao N6 de Ligação do Pópulo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 9	Folha nº:	Titulo do desenho:
Versão:		Perfil Longitudinal Ramo F



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:
Escala: V:1/20 H:1/200		Projeto Alternativo ao N6 de Ligação do Pópulo
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 10	Folha nº:	Titulo do desenho:
Versão:		Perfil Longitudinal Ramo G



Quilometragem	
COTAS	Rasante
	Terreno
Elementos da Rasante	
Diagrama de Curvaturas	
Diagrama de Sobrelevações	

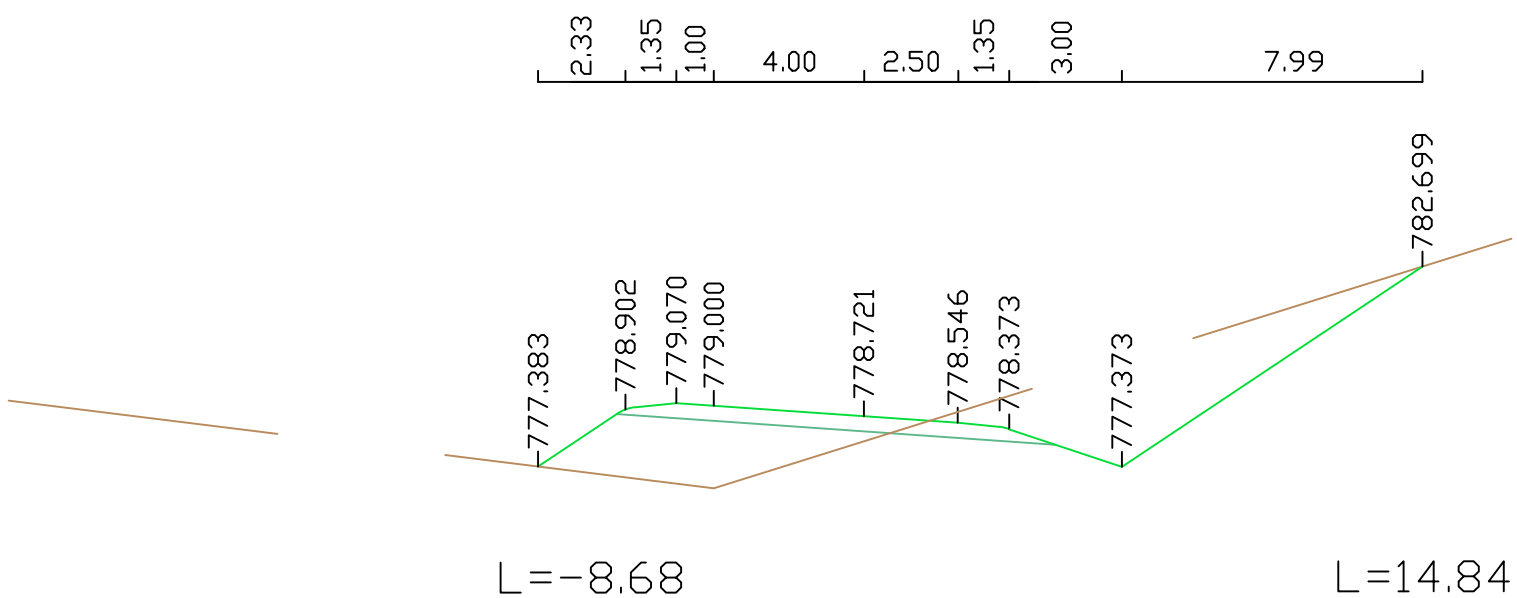


DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho:  Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Escala: V:1/20 H:1/200		
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 11	Folha nº:	Titulo do desenho:  Perfil Longitudinal Ramo H
Versão:		



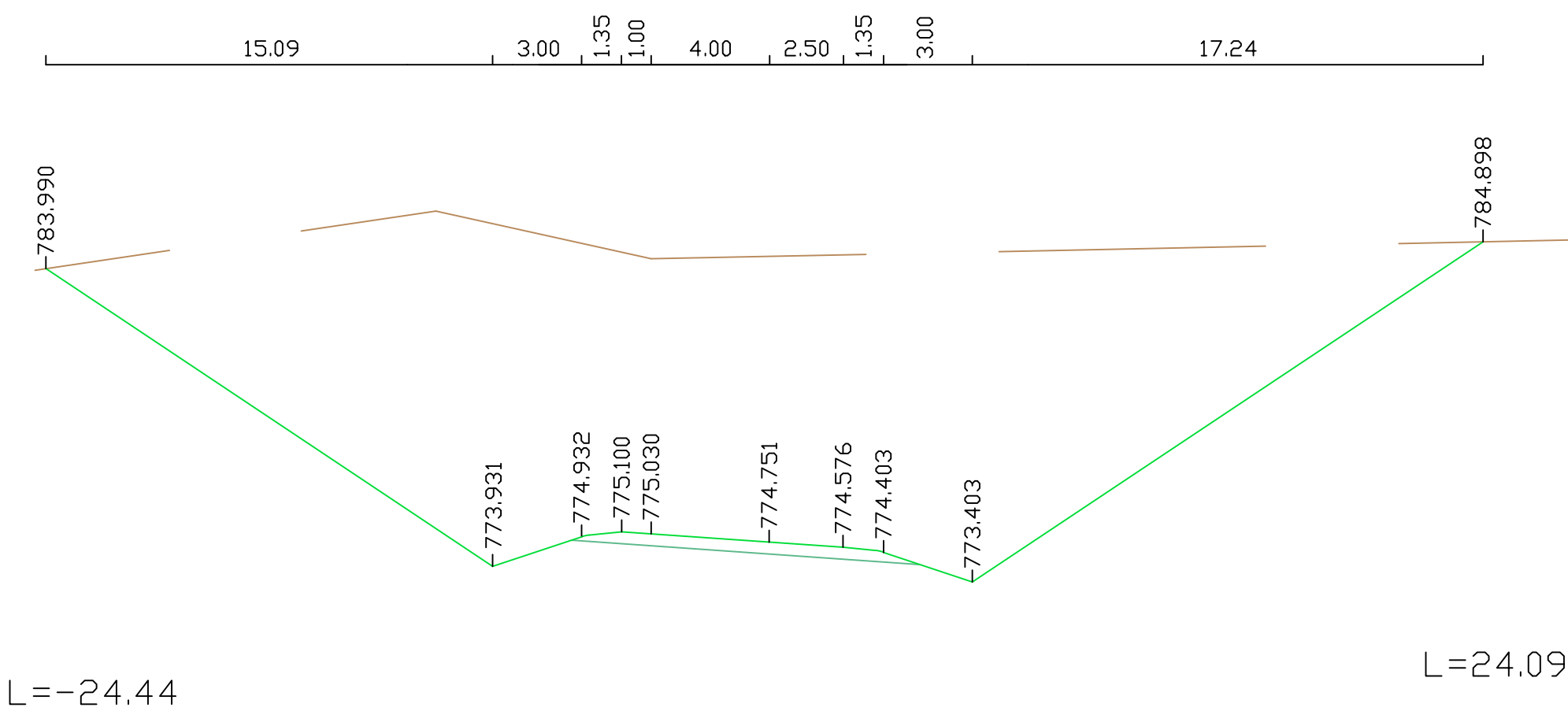
Ramo A

0+125.000



Ramo B

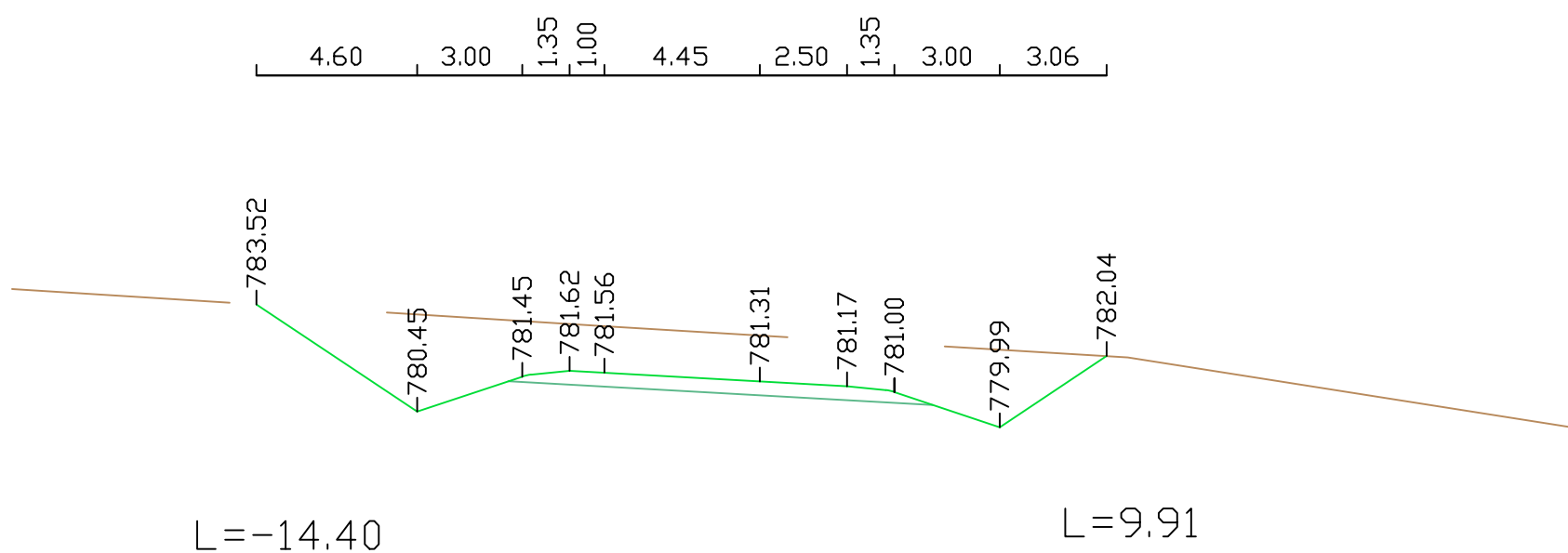
0+175.000



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho  Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Escala: 1/200		
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 12	Folha nº:	Titulo do desenho
Versão:		Perfis Transversais Ramos A e B

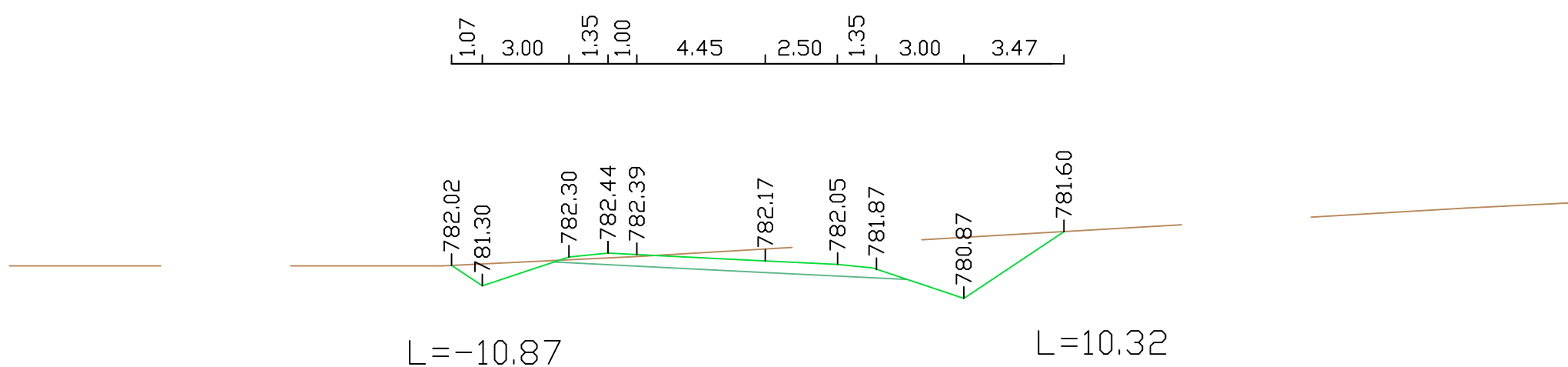
Ramo C

0+050.000



Ramo D

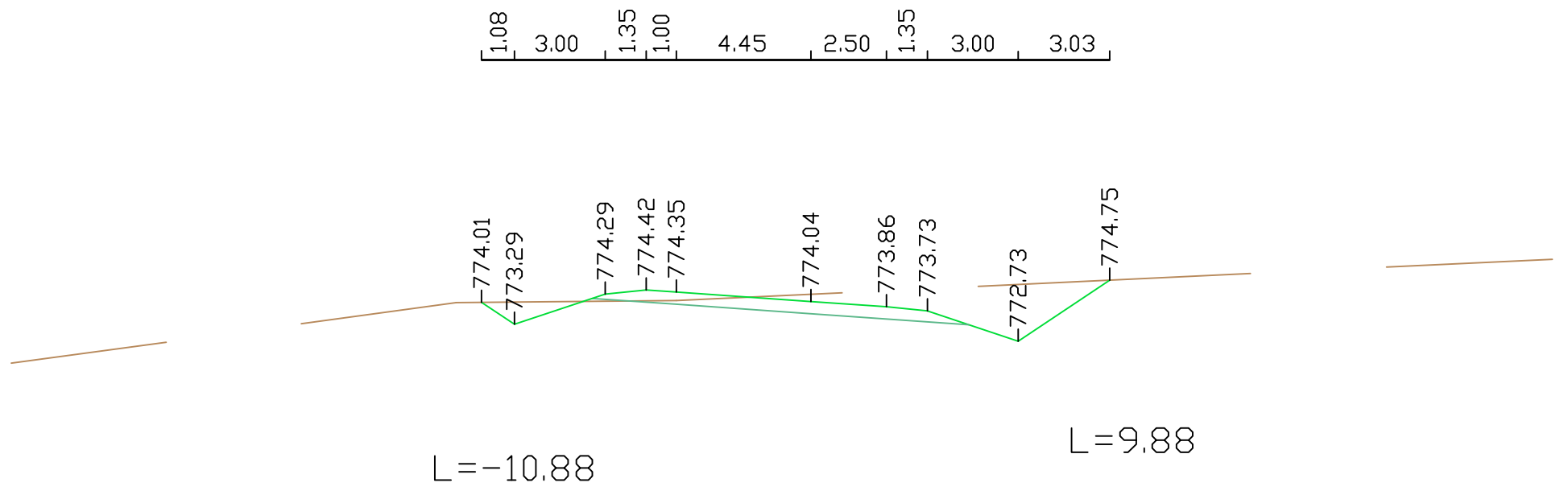
0+025.000



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho  Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Escala: 1/200		
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 13	Folha nº:	Titulo do desenho
Versão:		Perfis Transversais Ramos C e D

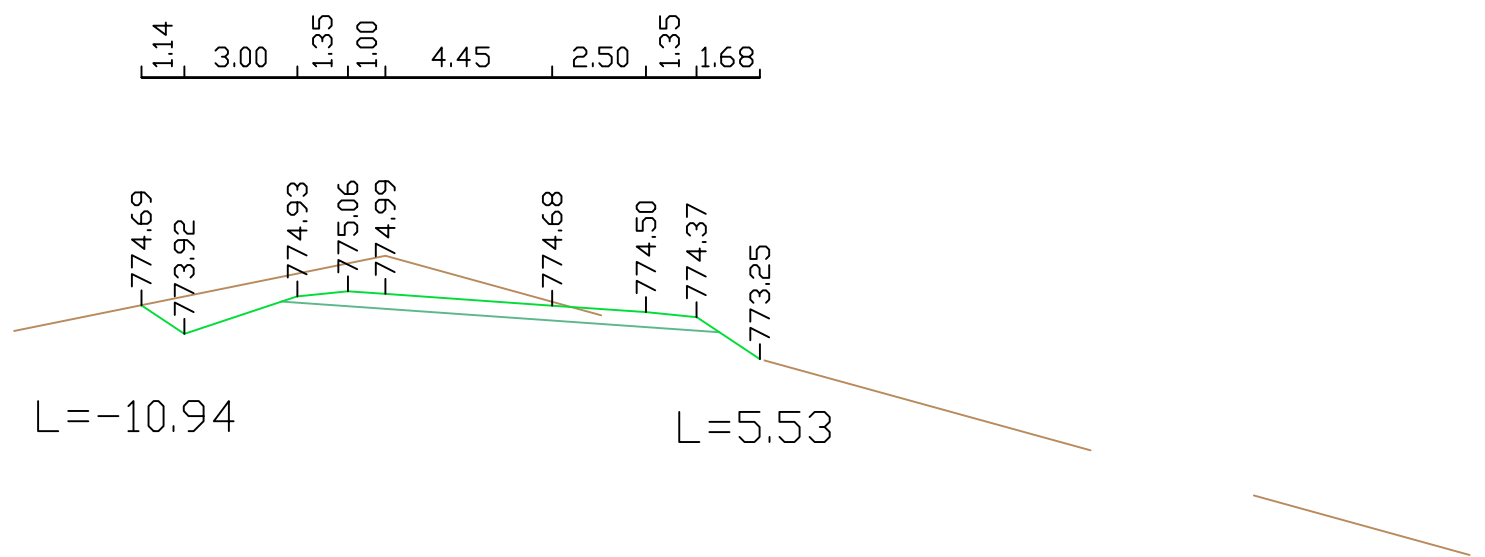
Ramo E

0+100.000



Ramo F

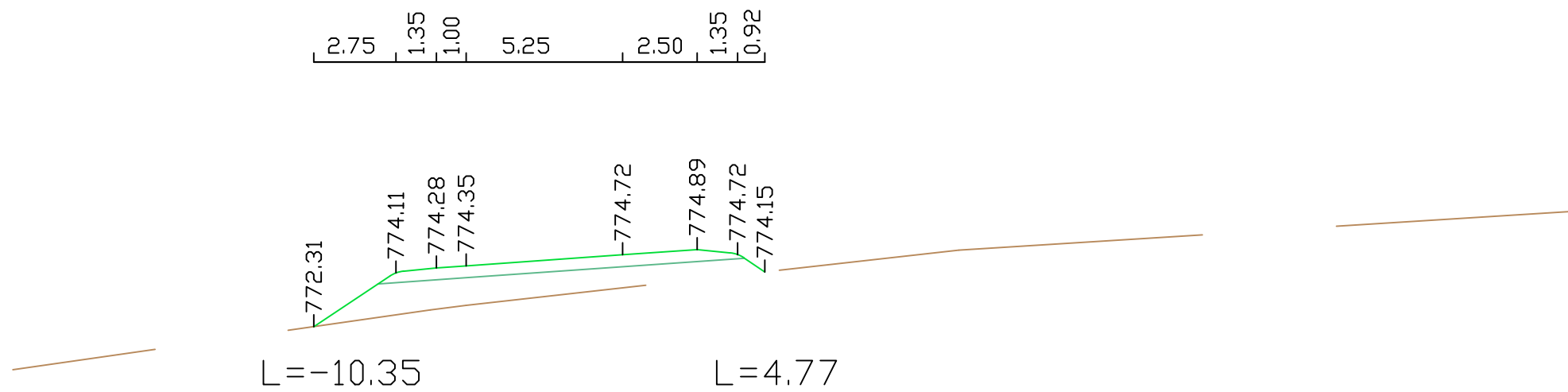
0+100.000



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho  Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Escala: 1/200		
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 14	Folha nº:	Titulo do desenho
Versão:		Perfis Transversais Ramos E e F

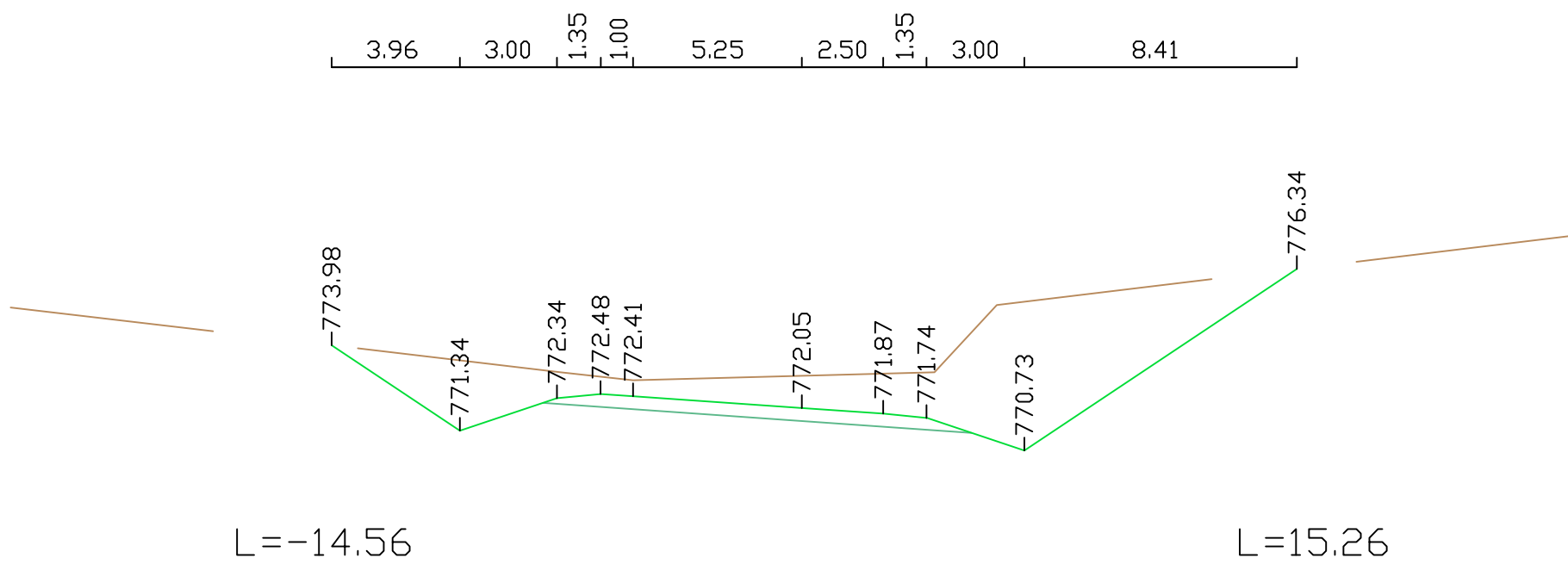
Ramo G

0+150.000



Ramo H

0+050.000



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL		
Autor: Marco Pinto	Rev.:	Titulo do trabalho  Projeto Alternativo ao Nó de Ligação do Pópulo
Escala: 1/200		
Data: Outubro 2014		
Desenho nº: 15	Folha nº:	Titulo do desenho
Versão:		Perfis Transversais Ramos G e H