

# PROJECTO DE UM NÓ RODOVIÁRIO

**ANDRÉ FILIPE GOMES AMORIM**

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

---

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JANEIRO DE 2012

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

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

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

A meus Pais

*“Nunca fazemos nada bem, até deixarmos de pensar sobre a maneira de o fazer”*

*William Hazlitt*



## **AGRADECIMENTOS**

Com a passagem de mais um obstáculo neste meu objectivo de vida, não poderia deixar de valorizar todos aqueles que, conscientemente ou não, me ajudaram na elaboração desta dissertação. Posto isto pedindo desde já desculpa a todos os que me referi de mencionar quero deixar uma palavra de apreço às seguintes pessoas.

Agradeço ao meu orientador Professor Adalberto Quelhas França pela disponibilidade e a boa disposição com que me transmitiu o conhecimento.

Aos meus pais, pelo carinho com que sempre me acompanharam neste percurso, por sempre terem uma palavra amiga no momento do falhanço e encorajadora no sucesso.

Ao meu irmão que sempre me incentivou a fazer mais e melhor.

Aos meus amigos, pelos inúmeros momentos de felicidade que me proporcionaram durante toda a minha vida.



## **RESUMO**

A presente dissertação tem como objectivo principal indicar uma solução de ligação e restabelecimento entre uma estrada existente e uma nova rodovia a ser construída, utilizando um nó de ligação rodoviário

A solução irá que ser efectuada em nó rodoviário em diamante, estando ainda presente a definição, e explicação do conceito rotunda dupla com passagem inferior nos primeiros capítulos desta dissertação.

Torna-se necessário perceber, todos os condicionalismos do projecto, para que as decisões tomadas minimizem o impacto económico e funcional da obra. Os conhecimentos adquiridos em geral no Mestrado Integrado de Engenharia Civil, e de forma particular nas disciplinas leccionadas pela secção de Vias de Comunicação (Vias de Comunicação I e II e Complementos de Obras Rodoviárias e Aeródromos) foram preponderantes na execução de uma forma correcta deste nó de ligação em diamante.

Utilizou-se no decorrer desta dissertação o programa de desenho assistido por computador AUTOCAD CIVIL 3D 2012, para realizar o projecto com maior eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nó em Diamante, Rotundas, Projecto, Construção Geométrica, Vias de Comunicação.



**ABSTRACT**

This dissertation aims to indicate a primary connectivity solution and reestablishment of an existing road and a new road to be built using a road junction.

The solution will be done on diamond road junction and is still present the definition and explanation of the concept with double roundabout underpass in the early chapters of this dissertation.

It is necessary to understand all the constraints of the project, so that decisions taken to minimize the impact of economic and functional work. The knowledge acquired in general in the Master of Civil Engineering, and particularly so in subjects taught by the Secção de Vias (Vias de Comunicação I and II and Complementos de Estradas e Aeródromos) were prevalent in the execution of this road junction.

Was used throughout this dissertation program Computer Aided Design AutoCAD Civil 3D 2012 to complete the project efficiently.

**KEYWORDS:** Diamond Road Junction, Roundabouts, Design, Geometric Construction, Roads.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. PERSPECTIVA HISTÓRICA E ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b> .....	3
2.1. NÓS DE LIGAÇÃO .....	3
2.2. ROTUNDAS .....	7
2.3. GENERALIDADES DE UM PROJECTO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO .....	10
2.4. NORMAS DOS NÓS DE LIGAÇÃO .....	12
2.5. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA .....	14
<b>3. CÁLCULOS, RESULTADOS E DETALHES DE PROJECTO</b> .....	17
3.1. ANÁLISE AOS ELEMENTOS NECESSÁRIOS Á EXECUÇÃO DO NÓ .....	17
3.2. PASSAGEM INFERIOR .....	19
3.3. ROTUNDAS .....	21
3.3.1. ROTUNDA NORTE .....	22
3.3.2. ROTUNDA SUL .....	24
3.4. RESTABELECIMENTO .....	26
3.4.1. RESTABELECIMENTO NORTE .....	27
3.4.1. RESTABELECIMENTO SUL .....	29
3.5. RAMOS DE LIGAÇÃO .....	31
3.5.1. RAMO NOROESTE (NW) .....	32
3.5.2. RAMO NORDESTE (NE) .....	34
3.5.3. RAMO SUDOESTE (SW) .....	36
3.5.4. RAMO SUDESTE (SE) .....	38

<b>3.6. VIAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE</b> .....	40
3.6.1. VIAS DE ABRANDAMENTO .....	40
3.6.2. VIAS DE ACELERAÇÃO .....	40
3.6.3. TAPER .....	42
<b>4. APRECIACÕES FINAIS</b> .....	43
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	45
<b>ANEXOS</b> .....	47
ANEXO 1 – RASANTE DO RAMO NW .....	48
ANEXO 2 – RASANTE DO RAMO NE .....	51
ANEXO 3 – RASANTE DO RAMO SW .....	54
ANEXO 4 – RASANTE DO RAMO SE .....	57
ANEXO 5 – RASANTE DO RESTABELECIMENTO NORTE .....	60
ANEXO 6 – RASANTE DO RESTABELECIMENTO SUL .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Vista aérea de um nó de ligação em trevo completo .....	4
Fig. 2 - Vista aérea de um nó de ligação em trevo incompleto .....	5
Fig. 3 – Vista aérea de um nó de ligação em trompete .....	5
Fig. 4 - Vista aérea de um nó de ligação em diamante com dupla rotunda .....	6
Fig. 5 – Pontos de Conflito Intersecções vs Rotunda .....	7
Fig. 6 – Planta do Problema Dado .....	14
Fig. 7 – Perfil Transversal tipo da Estrada Principal .....	15
Fig. 8 – Pormenor da Implantação do nó .....	17
Fig. 9 – Pormenor da Implantação da Passagem Inferior .....	19
Fig.10 – Perfil Longitudinal da Passagem Inferior .....	20
Fig.11 – Perfil Transversal Tipo das Rotundas .....	21
Fig.12 – Pormenor da Planta da Rotunda Norte .....	22
Fig.13 – Perfil Longitudinal Rotunda Norte .....	23
Fig.14 – Pormenor da Planta da Rotunda Sul .....	24
Fig.15 – Perfil Longitudinal Rotunda Sul .....	25
Fig.16 – Perfil Transversal Tipo dos Restabelecimentos .....	26
Fig.17 – Pormenor da Planta do Ponto Final do Restabelecimento Norte .....	27
Fig.18 – Pormenor da Planta do Ponto Inicial do Restabelecimento Norte .....	28
Fig.19 – Pormenor da Planta do Restabelecimento Sul .....	30
Fig.20 – Perfil Transversal Tipo dos Ramos de Ligação .....	31
Fig.21 – Pormenor da Implantação do Ramo NW .....	33
Fig.22 – Pormenor da Implantação do Ramo NE .....	35
Fig.23 – Pormenor da Implantação do Ramo SW .....	37
Fig.24 – Pormenor da Implantação do Ramo SE .....	39



**ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)**

Quadro 1 – Sobreelevação dos ramos de ligação .....	12
Quadro 2 – Transição da sobreelevação nas curvas dos ramos de ligação .....	13
Quadro 3 – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação.....	13
Quadro 4 – Extensão mínima das curvas de transição dos ramos de ligação.....	13
Quadro 5 – Pontos Notáveis Passagem Inferior.....	20
Quadro 6 - Pontos Notáveis Rotunda Norte .....	22
Quadro 7 – Pontos Notáveis Rotunda Sul .....	24
Quadro 8 – Pontos Notáveis da Implantação do Restabelecimento Norte.....	27
Quadro 9 – Pontos Notáveis da Implantação do Restabelecimento Sul .....	29
Quadro 10 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo NW.....	32
Quadro 11 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo NE.....	34
Quadro 12 - Pontos Notáveis da Implantação do Ramo SW.....	36
Quadro 13 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo SE.....	38
Quadro 14 – Comprimentos de EB .....	40
Quadro 15 – Factores de Correção.....	40
Quadro 16 – Extensão da Via de Aceleração .....	41

## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

Vb – Velocidade Base [Km/h]

$\Delta$ Se – Variação da Sobreelevação

DEC - Departamento de Engenharia Civil

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

O movimento e o conceito de mobilidade sempre foram considerados unidade de medida do desenvolvimento civilizacional. Desde as primeiras migrações na Antiga Mesopotâmia, passando pelas expedições romanas, até aos dias de hoje, o conceito de via de comunicação foi gradualmente sendo reinventado e melhorado, até à situação actual, em que as estradas são elementos de impulsionamento económico, ligando centros urbanos e de negócios de forma rápida e cada vez mais segura.

O crescente acesso e procura da população a bens e serviços, tem feito aumentar exponencialmente o tráfego rodoviário, nas últimas décadas. Este problema tem sido colmatado com cada vez mais estudos de tráfego, e introdução na rede viária de vias de velocidade elevada. A questão da ligação entre estradas também não tem sido deixada de parte, existindo hoje em dia variadíssimas formas de ligação entre estas.

Nesta dissertação vamos estudar um exemplo prático de ligação entre duas estradas com níveis tráfego diferentes. É imperioso ter atenção a diversos aspectos na definição da melhor solução para fazer esta ligação. Condicionantes como a velocidade, a topografia, o edificado, o meio ambiente e a economia não podem ser descartados na elaboração desta solução, de forma a obter-se um traçado viável, económico e seguro.

O objectivo desta dissertação é realizar o projecto geométrico de um nó de ligação rodoviário com restabelecimento das vias anteriormente existentes. Mesmo com os condicionalismos do projecto dever-se-á apresentar uma solução ainda que possível o mais optimizada possível.

## **1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está dividida em 4 capítulos:

No presente capítulo, vai ser feita uma pequena apresentação do problema dado e dos objectivos nele contido.

No segundo capítulo, será feita uma contextualização e perspectiva histórica acerca dos elementos constituintes do projecto. Será ainda dada uma breve demonstração das normas dos nós de ligação e rotundas.

O terceiro capítulo será integralmente dedicado á apresentação de todos os cálculos, parâmetros, e opções do nó em diamante a ser construído, bem como das rotundas e restabelecimentos.

No quarto e último capítulo será feita uma breve exposição das dificuldades e opções que tiveram que ser tomadas na elaboração do projecto, seguindo-se a apresentação dos anexos, onde serão apresentadas todas as peças desenhadas, que considero importantes para a execução do projecto.

# 2

## PERSPECTIVA HISTÓRICA E ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 2.1. NÓS DE LIGAÇÃO

Os nós de ligação foram criados com o intuito de reduzir ou eliminar pontos de conflito existentes entre estradas que se cruzam a níveis diferentes. Deste modo, são elementos que aumentam em larga escala a capacidade e a segurança em relação a qualquer outro tipo de intersecção existente.

A principal vantagem deste tipo de solução é a eliminação total ou parcial de pontos de conflito entre as correntes de tráfego convergentes. Geralmente apresentam níveis muito baixos de sinistralidade e ainda menores índices de sinistros com vítimas mortais. A principal desvantagem é o facto de serem soluções dispendiosas, sendo necessários vários estudos e uma grande porção de terreno para a sua implantação, em relação á anterior solução existente que eram as intersecções prioritárias. Este tipo de solução embora ainda tenha vasta utilização nos dias de hoje, tem perdido preponderância com o aumento da velocidade de projecto das estradas.

Existem variadíssimos tipos de nós, os mais utilizados em Portugal são: Nó em trevo (completo ou incompleto), Nó em trompete (apenas 3 ramos) e nó em diamante. Embora haja uma variedade muito grande deste tipo de elementos rodoviários só em casos pontuais de grande necessidade de escoamento de tráfego e segurança eles são construídos pois ao eliminar entrecruzamentos, intersecções e ligações interiores têm que ser construídas obras de arte que aumentam exponencialmente os custos de construção. Nas figuras 1,2,3 e 4 estão documentados alguns exemplos portugueses destes tipos de nós.

O nó de ligação em trevo pode ter mais do que uma disposição: Trevo completo e trevo de dois quadrantes (também denominado, trevo incompleto). O nó de trevo completo tem como principal característica ser normalmente a solução mais económica que assegura correntes de tráfego livres para todas as viragens, mesmo assim tem um elevado custo em relação ao diamante e ao trevo parcial, embora com maior segurança. Tem como principal desvantagem, também a realização de perigosos entrecruzamentos entre os condutores que simultaneamente querem entrar e sair da estrada principal, aumentando o risco de sinistralidade, que poderá levar a acidentes, com alguma gravidade e localizados em cima da estrutura do nó. Este tipo de nó pode ainda ser construído com vias colectoras-distribuidoras de tráfego que aumentam a distância entre divergências e convergências, o que melhora a percepção da orientação a seguir e uma melhor visibilidade do tráfego.

O nó em trompete é aplicado quando a estrada secundária termina na estrada principal. É uma ligação de apenas 3 ramos. Deve mesmo assim ser considerado a construção de um nó em diamante se houver a possibilidade de no futuro se construir o prolongamento da estrada secundária.

O nó de ligação em diamante é o mais simples, este tipo de nó tem ramos de ligação directos com bom traçado, paralelo á estrada principal, e custos de construção mínimos. Este nó tem uma característica

menos positiva que é a capacidade e a segurança das intersecções dos ramos de ligação com a estrada secundária. Este problema tem sido resolvido com a introdução de rotundas nessas intersecções. Assim sendo, consegue-se o melhor dos dois tipos de cruzamentos dos ramos com a estrada secundária, grande capacidade e segurança nas intersecções, ramos simples e de fácil construção, com custos de construção reduzidos. A solução com rotundas tem ainda o benefício de evitar manobras erradas de contramão já que os condutores têm facilmente percepção dentro da rotunda dos nós de entrada e de saída, sendo necessárias várias manobras para que se consiga fazer um movimento não desejado. A principal desvantagem da utilização da solução com rotunda é o facto de para garantir as condições de circulação é exigido uma considerável ocupação de espaço.



Fig.1 – Vista aérea de um nó de ligação em trevo completo (Fonte: Google Maps)

As estruturas a ser construídas nos nós devem ser o mais simples possível e integrar-se naturalmente no traçado do nó sem atrair a atenção dos condutores, deve-se ter em conta que como não é um elemento de fácil remoção e alteração, o tráfego de dimensionamento deve ter um ano horizonte de projecto de 20 anos e se necessário assegurar espaço para aumento do número de vias em cima do tabuleiro da estrutura.

Deve haver uma estreita colaboração entre os projectistas da estrada, das estruturas e dos nós de ligação, para estudo da solução óptima do nó de ligação. A topografia do terreno, costuma ser condição predominante para a definição de que a estrada principal passe por cima ou por baixo da estrutura, embora possam ser usados outro tipo de condicionalismos.



Fig.2 – Vista aérea de um nó de ligação em trevo incompleto (Fonte: Google Maps)



Fig.3 – Vista aérea de um nó em trompete (Fonte: Google Maps)



Fig.4 – Vista aérea de um nó de ligação em diamante com dupla rotunda (Fonte: Google Maps)

O nó em diamante pode ser mais ou menos alargado consoante a necessidade de se alterar o perfil longitudinal da estrada secundária, para garantir o gabarit necessário entre a estrada secundária e a estrutura a construir para dar continuidade á estrada principal. Um diamante mais alargado tem a vantagem de ter rampas mais suaves, embora tenha maiores custos de construção e expropriação.

## 2.2. ROTUNDAS

A construção das primeiras rotundas ou intersecções giratórias, remonta á idade média, muito antes da utilização do automóvel, mas só a partir da década de 60, com a imposição da prioridade a quem circula no anel em Inglaterra esta solução proliferou, pois permite aumentar a segurança e a capacidade das intersecções, havendo hoje soluções até bastante compactas.

A definição de Rotunda (sendo utilizado também o termo Intersecção Giratória de Nível) pode ser dada pelo ordenamento do trânsito em sentido único de circulação, em torno de uma anel central, geralmente circular, podendo este ser galgável ou não. O trânsito dentro da rotunda é considerado prioritário em relação aos ramos convergentes desta.

Existem variados tipos de rotundas. Entre os mais conhecidos estão a rotunda normal, a mini-rotunda em que o anel central está pintado na faixa de rodagem, a rotunda desnivelada, utilizada em nós de ligação, rotunda dupla e rotunda semaforizada. Cada uma tem características e aplicabilidades diferentes, a que vamos dar mais atenção na realização desta dissertação é á rotunda normal, embora a solução apresentada não seja mais do que duas rotundas compactas interligadas por passagem inferior, que em Portugal é mais utilizado em detrimento da solução de rotunda desnivelada, que é uma solução mais dispendiosa (devido á necessidade de construção de mais do que uma obra de arte).



Fig.5 – Pontos de Conflito Intersecções vs Rotunda (Fonte: Sebenta Circulação e Transportes I)

O facto de diminuírem de forma acentuada os pontos de conflito em relação a cruzamentos prioritários, como se pode ver na figura 5, e de terem capacidade superior a uma intersecção semaforizada, aumentando a fluidez do tráfego, torna-as as melhores soluções quando não existem entraves significativos na ocupação de espaço. Este tipo de estrutura tem uma característica que tem que ser levada em conta na sua formulação e estudo. Deve ser previsto um projecto de iluminação da rotunda, pois o maior número de acidentes é verificado pela excessiva velocidade de entrada no ramo, por muitas vezes os condutores não se aperceberem da existência destas.

Na aproximação á rotunda devem-se utilizar raios de curva gradualmente inferiores para que os condutores não entrem nesta com velocidade excessiva, e tenham tempo para se ambientar e se aperceberem do tipo de elemento rodoviário que irão encontrar.

As rotundas têm sido, como já foi dito anteriormente, introduzidas gradualmente nos projectos de nós de ligação, pois têm um compromisso muito bom na ligação de estradas com tráfegos muito diferentes. É possível com este tipo de soluções ligar a uma estrada de tráfego elevadíssimo, estradas com pouco tráfego que passem nas imediações do nó de ligação, bastando para isso ligar essa estrada á rotunda, sem que esta perca a sua capacidade e sem que haja constrangimentos em relação á segurança desta.

As rotundas têm também recomendações geométricas que devem ser seguidas para o correcto dimensionamento destas. O aspecto mais importante a relevar é que este tipo de elemento rodoviário é um meio de acalmia de tráfego, impondo uma restrição física á prática de velocidades elevadas, quer na aproximação da rotunda como no atravessamento desta. O princípio de funcionamento concordante com a imposição de velocidades reduzidas de entrada e garantia de rápida saída dos veículos do interior da rotunda, não só aumenta a capacidade como também a segurança desta. Sendo assim, vamos enumerar algumas disposições para o dimensionamento correcto das rotundas.

Em termos de disposição dos ramos afluentes, este deve ser efectuado de forma regular em torno da ilha central, fazendo entre si ângulos semelhantes, é aceitável que por necessidade exista um ligeiro descentramento dos ramos secundários, desde que o mesmo não promova entradas tangenciais na rotunda. Por razões de segurança deve ser salvaguardada uma distância mínima entre ramos de 20,0 metros.

O traçado de aproximação deve contribuir para a percepção atempada, por parte do condutor, do elemento rodoviário que este tem pela frente. Sendo assim, em estradas em que se possam desenvolver velocidades elevadas, recomenda-se a introdução de sequências de curvas e contracurvas de raio progressivamente mais reduzido.

Embora o aumento do número de vias de entrada, normalmente conduza a um aumento da capacidade, podem existir constrangimentos por causa das indecisões comportamentais dos condutores, soluções com uma única via são recomendáveis sempre que o objectivo seja o de aumentar a segurança. O dimensionamento da largura efectiva de entrada é a componente geométrica mais preponderante na capacidade da entrada, e perante uma única via de entrada deve ter entre 4,0 e 5,0 metros.

Deve-se ainda ter em conta nas entradas dos ângulos e raios de entrada. O ângulo de entrada constitui um indicador essencialmente representativo da segurança de entrada e do conforto de condução. Ângulos muito baixos proporcionam entradas tangenciais na rotunda, sem a mitigação de velocidade recomendável e ângulos muito elevados levam á introdução de conflitos muito perigosos. É recomendável a introdução de ângulos de entrada entre 30° e 50°. Os raios de entrada é o parâmetro que mais condiciona a velocidade escolhida pelos condutores. Deve-se evitar adoptar raios inferiores a 15,0m e superiores a 50,0m, sendo recomendável a utilização de valores entre os 20,0 e os 30,0 metros.

O ilhéu separador tem como principal papel a canalização e separação dos movimentos de entrada e saída de uma rotunda.

O anel de circulação deve ter largura constante e ser capaz de garantir o número de vias da entrada mais solicitada. Deve ainda ter a sobrelargura necessária para que veículos de maiores dimensões não tenham constrangimentos na operacionalidade da rotunda. Recomenda-se que tenha largura compreendida entre os 5 e os 15 metros. As ilhas centrais devem ter também raios superiores a 8 metros medidos entre o centro da rotunda e a guia do intradorso da rotunda.

De uma forma geral, as saídas principais de uma rotunda devem assegurar níveis de capacidade superiores aos assegurados pelo anel de circulação e pelas entradas. Recomenda-se então uma largura mínima da faixa de rodagem de 5,0 metros, ao que se deve ainda acrescentar o valor das bermas para que no caso de acidente ou avaria as saídas da rotunda não sejam bloqueadas. Os raios de saída devem também ser mais permissivos do que os de entrada sendo desaconselhado o uso de raios inferiores a 20,0 metros e superiores a 50,0 metros.

## 2.3. GENERALIDADES DE UM PROJECTO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO

Em qualquer projecto de Engenharia Civil, e em particular, no caso dos projectos de Vias de Comunicação, o projectista deve observar o problema dado, com espírito crítico de forma, a colmatar todos os problemas e impactos que o seu projecto terá. Á partida, todo o projecto é um problema complexo e com infinitas soluções, devido á sua subjectividade e indeterminações. O facto dos projectos de Vias de Comunicação, terem sempre uma forte componente geométrica, faz com que a multiplicidade de soluções produza muitas vezes soluções que não são economicamente viáveis.

Na fase de desenvolvimento de um traçado em planta e em perfil é importante ter em conta certas condicionantes que levem a uma escolha óptima através da mitigação dos impactos desenvolvidos pela obra em si. De seguida são apresentadas algumas condicionantes desse estudo.

Características técnico-geométricas como a velocidade de projecto estabelecem limites máximos e mínimos para alguns elementos do traçado, como os raios das curvas e os declives da estrada, é este tipo de característica que vai ser alvo de estudo pormenorizado nesta dissertação: as características geométricas de um nó de ligação.

### -Características topográficas

As características topográficas têm um papel fundamental na escolha do traçado, já que o aspecto económico relacionado com a movimentação de terras e construção de obras de arte é preponderante na escolha das diversas soluções.

### -Hidrologia

O atravessamento de rios, e de diferentes bacias hidrográficas vai fazer toda com que tenha que existir a construção de passagens hidráulicas (Aquedutos) e de um estudo das intensidades de precipitação para dimensionamento das estruturas que removem a água da plataforma

### -Geologia e Geotecnia

A construção de uma estrada não é mais do que uma sucessão de aterros e escavações para criar uma plataforma onde se possa circular, sendo assim é da maior importância que os materiais existentes no solo sejam de boa qualidade e tenham resistência suficiente para aguentarem a carga que o aterro lhe coloca.

Apesar de não ser objecto de estudo nesta dissertação, a construção de uma estrada leva sempre a grandes volumes de movimentação de terras, o conhecimento da geologia existente é preponderante para a obtenção em fase de estudo prévio de um orçamento acertado, pois a solução óptima passa pela utilização de material escavado em aterro, e nem sempre essa solução é possível

### -Ocupação do Solo

O edificado é sempre uma condicionante importante na escolha do traçado, deve-se evitar as construções existentes, e sempre que possível fazer a via em zonas de fácil expropriação (normalmente zonas rurais). O restabelecimento da rede viária já existente também é fundamental. A existência de tubos hidráulicos e de gás, cabos de comunicações e outras estruturas já existentes deve ser estudada para não promover qualquer tipo de interrupção de serviços já existentes.

### -Impactos Ambientais, Visuais e Sociais

Qualquer construção tem impacto na vida das populações, existem variadíssimos factores que influenciam esse impacto como, o ruído provocado tanto pela construção de uma estrada quer pela circulação dos veículos nesta, a poluição dos aquíferos devido á acumulação de óleos na estrada, o impacto visual que aterros e escavações enormes podem ter e a mudança dos níveis freáticos com a promoção de redes de escoamento subterrâneas. Qualquer destes impactos ou outro qualquer, apesar de muito dificilmente poder ser suprimido, deve ser mitigado logo em fase de projecto em coordenação com o caderno de encargos.

Tendo em conta todos estes condicionalismos tem que se ter noção que a experiência do projectista é preponderante para a obtenção de soluções próximas do óptimo, mesmo assim, apenas seguindo as normas pode-se chegar a diversas soluções que tenham um bom compromisso entre a segurança, capacidade e custo.

## 2.4. NORMAS DOS NÓS DE LIGAÇÃO

As normas dos nós de ligação têm em conta apenas a construção geométrica dos ramos de ligação, destes. O conteúdo que estiver omissa nesta parte da legislação, deve ter em conta as normas existentes de traçado e de intersecções.

As normas dos nós de ligação debruçam-se predominantemente acerca da sobrelevação nos ramos de ligação. Em curvas de raio diminuto e de sentido único poder-se-á utilizar sobrelevações de 12% se não existir perigo de gelo ou neve. Esta também não deve ser tão elevada se houver sinais de cedência de passagem ou semáforos que impliquem uma redução brusca da velocidade.

Embora seja aceite que se deve utilizar a Sobrelevação máxima possível para qualquer situação, no quadro 1, indicam-se os valores limite recomendados em função do raio da curva e da velocidade no ramo.

Quadro 1 – Sobrelevação dos ramos de ligação (Fonte: Normas de Nós de Ligação, JAE)

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

A variação da sobrelevação também está documentada nas normas dos nós de ligação de forma a assegurar a comodidade do condutor e um efeito estético agradável. Os valores dessa limitação podem ser consultados no quadro 2.

Quadro 2 – Transição da sobrelevação nas curvas dos ramos de ligação (Fonte: Normas de Nós de Ligação, JAE)

$V_b$ (km/h)	$\Delta Se / 20m$ (%)
25 a 30	5,3
40	4,7
50	4
>60	3,3

A sobrelargura também se deve ter em conta para curvas de raios muito reduzidos (inferiores a 90,0m), como se pode ver no quadro 3.

Quadro 3 – Sobrelargura das curvas dos ramos de ligação (Fonte: Normas de Nós de Ligação, JAE)

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

Os valores recomendados para a extensão mínima das curvas de transição nos ramos de ligação é bastante importante para termos uma ideia dos parâmetros da clotóide que se poderão utilizar neste tipo de elemento. Como se pode verificar no quadro 4.

Quadro 4 – Extensão mínima das curvas de transição dos ramos de ligação (Fonte: Normas de Nós de Ligação, JAE)

Velocidade padrão (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60
Raio mínimo (m)	15	25	35	45	60	75	90	120
Extensão mínima de transição (m)	15	21	24	28	32	36	40	45
Parâmetro da Clotóide	15	22,5	28	36	45	52	60	75

## 2.5. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA

O problema dado consiste no restabelecimento de uma estrada já existente, que vai ser atravessada por uma estrada nova de características conhecidas, com ligação a esta através de um nó em diamante. Os dados do problema são: A topografia do terreno e o edificado existente; o alinhamento da estrada existente e a construir e o perfil longitudinal da estrada a construir

O problema dado, não tem qualquer informação acerca do tráfego existente, sendo de salientar que qualquer opção que se poderia tomar, mediante a existência desses dados, irá ter a redução dos custos de obra e do impacto sobre as populações como factor fundamental no projecto. Não foi dada também qualquer informação acerca do local onde está previsto a execução da passagem inferior.

A zona em estudo, representada na figura 6 é uma zona rural, estando marcados na topografia do terreno zonas de olival, seara e pomar. Existe uma área da zona em estudo que tem desníveis proeminentes e zonas de escarpa que pretendemos evitar tanto na construção das rotundas como no dos nós de ligação á Estrada Principal. Através do perfil longitudinal dado, é possível observar que esta zona se situa numa zona de patamar de uma colina, com cerca de 1km de extensão.

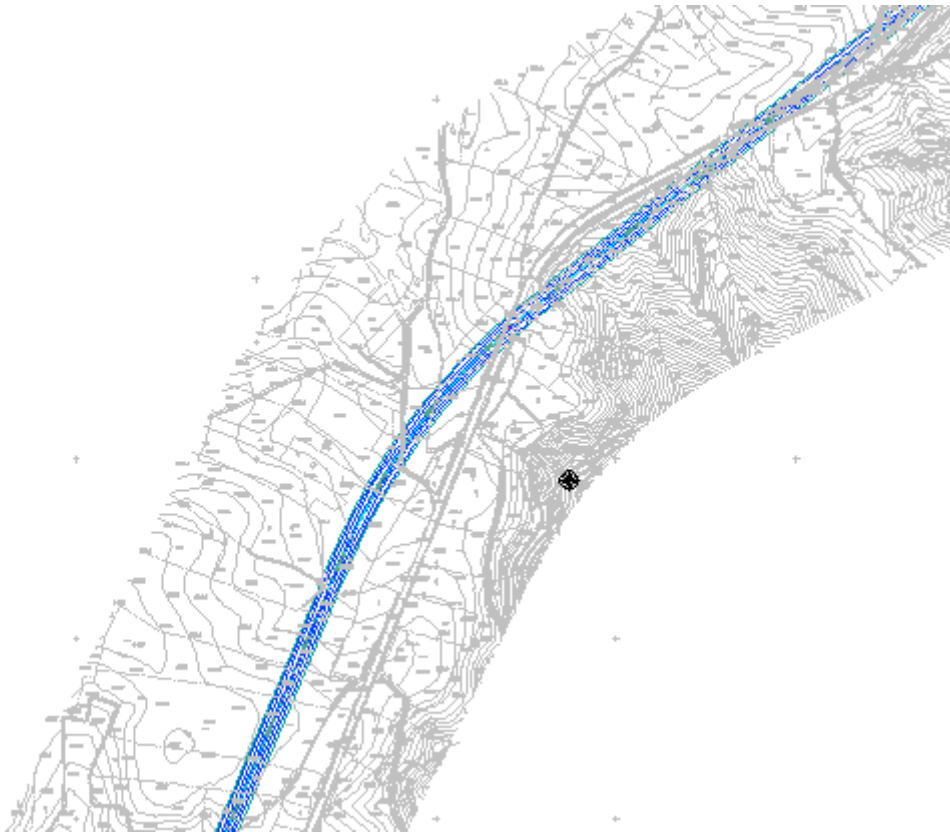


Fig.6 – Planta do Problema Dado

Existem também algumas edificações, nomeadamente alguns depósitos/tanques agrícolas, postes telefónicos, postes eléctricos e torres de alta tensão, e algumas casas, embora muito dispersas. Em relação á rede viária existente, além da estrada que pretendemos fazer o restabelecimento e ligar á estrada principal a ser construída, existem também alguns caminhos agrícolas que serão descontinuados pela obra. Neste caso, não haverá restabelecimento directo destes mas sim a ligação

destes às vias que estaremos a restabelecer, fazendo assim com que não sejam necessárias outras obras de arte nem criação de mais passagens inferiores.

A estrada principal na zona descrita, tem uma curva de raio igual a 700 metros, tendo curvas de transição em Clotóide de parâmetro igual a 236,643. Em termos de perfil longitudinal, a estrada tem nesta zona duas curvas de concordância horizontal conhecidas, para poder aliviar a inclinação acentuada que esta vem a ter na descida da colina, para evitar zonas de aterro e escavação nesta zona de patamar. Como já foi dito, por causa de estar numa zona de colina, e por ter traneis de inclinação elevada, esta estrada tem uma via de lentos na zona a estudar, tanto na via ascendente como na descendente. Essa via de lentos está marcada no projecto dado, tendo 3,75m de largura, semelhante á via existente na estrada em toda a sua extensão. Na figura 7 está representado o perfil transversal tipo da Estrada Principal.

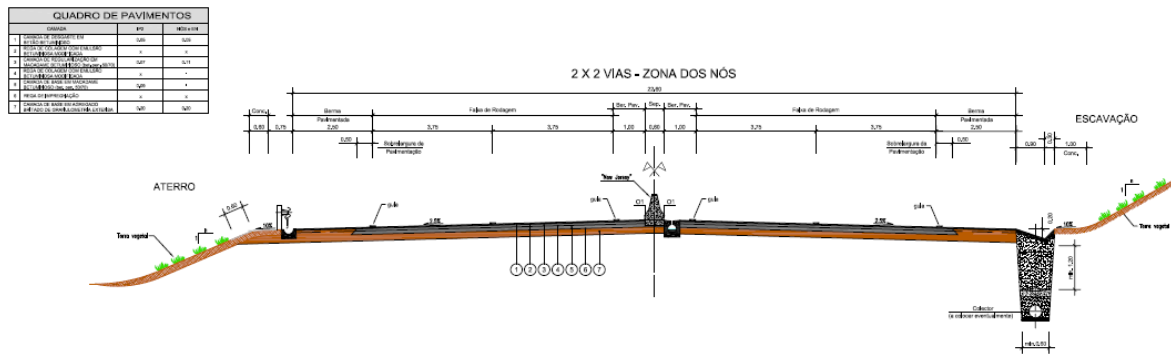


Fig.7 – Perfil Transversal tipo da Estrada Principal



## 3

CÁLCULOS, RESULTADOS E  
DETALHES DE PROJECTO

## 3.1. ANÁLISE AOS ELEMENTOS NECESSÁRIOS Á EXECUÇÃO DO NÓ

Para a realização do projecto deste nó de ligação vamos necessitar de diversos elementos constituintes do nó. A soma de todos os elementos dará o resultado final. Um nó de ligação em diamante com restabelecimento de estrada secundária.

Sendo assim, os elementos necessários (ver figura 8) para a realização deste projecto são: Os quatro ramos de ligação á estrada principal, as duas rotundas, os restabelecimentos da estrada existente e uma passagem inferior que ligará as duas rotundas. A denominação dos vários elementos terá em conta a localização destes em relação á estrada principal. Então teremos o restabelecimento Norte e Sul, a Passagem Inferior, a Rotunda Norte e Sul, o Ramo Sudoeste (SW), o Ramo Sudeste (SE), o Ramo Noroeste (NW) e o Ramo Nordeste (NE).

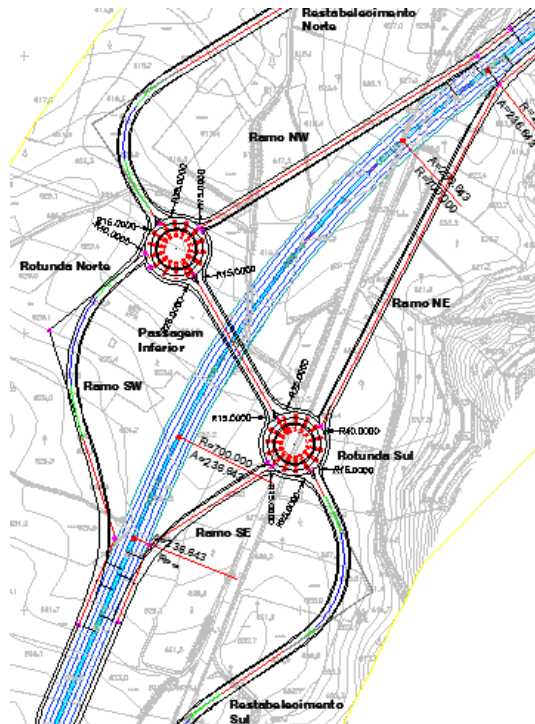


Fig.8 – Pormenor da Implantação do nó

De seguida será dada uma explicação mais pormenorizada de todos os elementos constituinte do nó com ilustrações destes e os seus pontos notáveis,

### 3.2. PASSAGEM INFERIOR

O primeiro passo na definição da geometria deste Nó em Diamante foi a zona na qual se iria construir a passagem inferior. Após observação da zona indicada, escolhi um local coincidente com a curva da estrada principal, na zona da curva circular, como se pode visualizar na figura 9. Para construir esta Passagem Inferior é necessário executar uma Obra de Arte (viaduto) para garantir a continuidade da Estrada Principal e o cruzamento entre estradas sem constrangimentos. Para que esta OA tenha um comprimento mínimo, entendi que a melhor solução seria construir esta PI em alinhamento recto simples, embora não tenha conseguido garantir a ortogonalidade entre este alinhamento e o da EP, visto existir uma torre de alta tensão nas imediações deste.

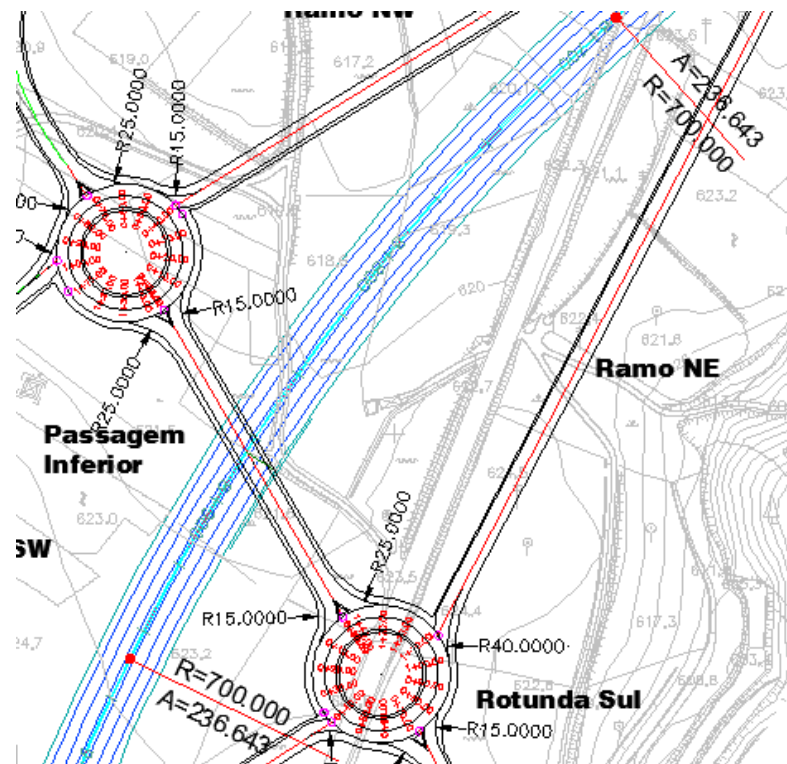
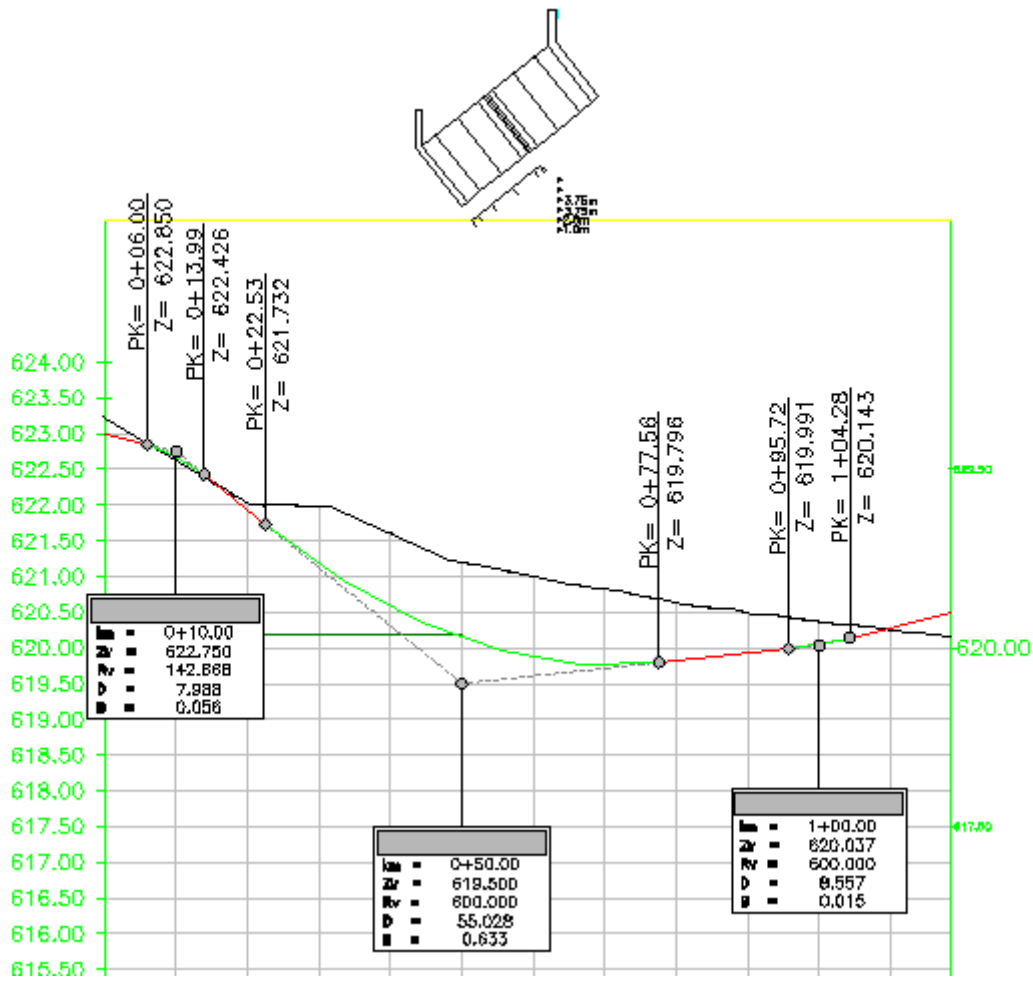


Fig.9 – Pormenor da Implantação da Passagem Inferior

Devido á construção da OA, é necessário garantir uma gabarit mínimo na extremidade da OA, foi garantida uma distância de 6m entre as duas estradas (5m de gabarit e 1m para a realização da obra de arte) como se pode ver no perfil longitudinal exibido na figura 10.

Tanto o ponto inicial como o final desta PI será as rotundas que existem neste nó. Sendo assim teremos que garantir que a cota Inicial e Final será igual á das rotundas no ponto em que esta se intersecta e que o trainel inicial e final da PI também será igual á sobrelevação da rotunda, nesse ponto. Como as rotundas, não têm grandes problemas no escoamento de água da plataforma, será utilizada uma sobrelevação constante de 2.5%, sendo assim a PI terá traineis iniciais com declive semelhante e igual a 2.5% também.



Os pontos notáveis da Passagem inferior são o seu ponto inicial e o ponto final, e podem ser consultados no quadro 5.

Quadro 5 – Pontos Notáveis Passagem Inferior

Passagem Inferior			
Ponto	Distância (m)	M	P
Inicial	0+00.000	94048,469	192131,605
Final	1+18,54	93988,869	192234,071



### 3.3.1. ROTUNDA NORTE

A Rotunda Norte foi o primeiro elemento a ser desenhado, pois tem que se garantir que a construção desta não interfira com um poste de alta tensão já existente no terreno e está localizada a norte da estrada principal.

Para a definição da equação da rotunda é necessário indicar os pontos notáveis: O ponto inicial (coincidente com o ponto final) e o centro da rotunda, como estão explicados no quadro 6.

Quadro 6 – Pontos Notáveis Rotunda Norte

Rotunda Norte			
Ponto	Distância (m)	M	P
Inicial	0+00.000	93988,869	192234,071
Final	1+44.513		
Centro		93976,000	192253,133

Os raios utilizados na elaboração das entradas e saídas da rotunda, apesar de estarem de acordo com as recomendações normativas, tendem a estar perto dos valores mínimos admissíveis, como se pode verificar na figura 12. A utilização destes limites mínimos deve-se ao facto do nível de tráfego existente na estrada secundária não ser elevado de forma a termos que garantir maior capacidade da rotunda.

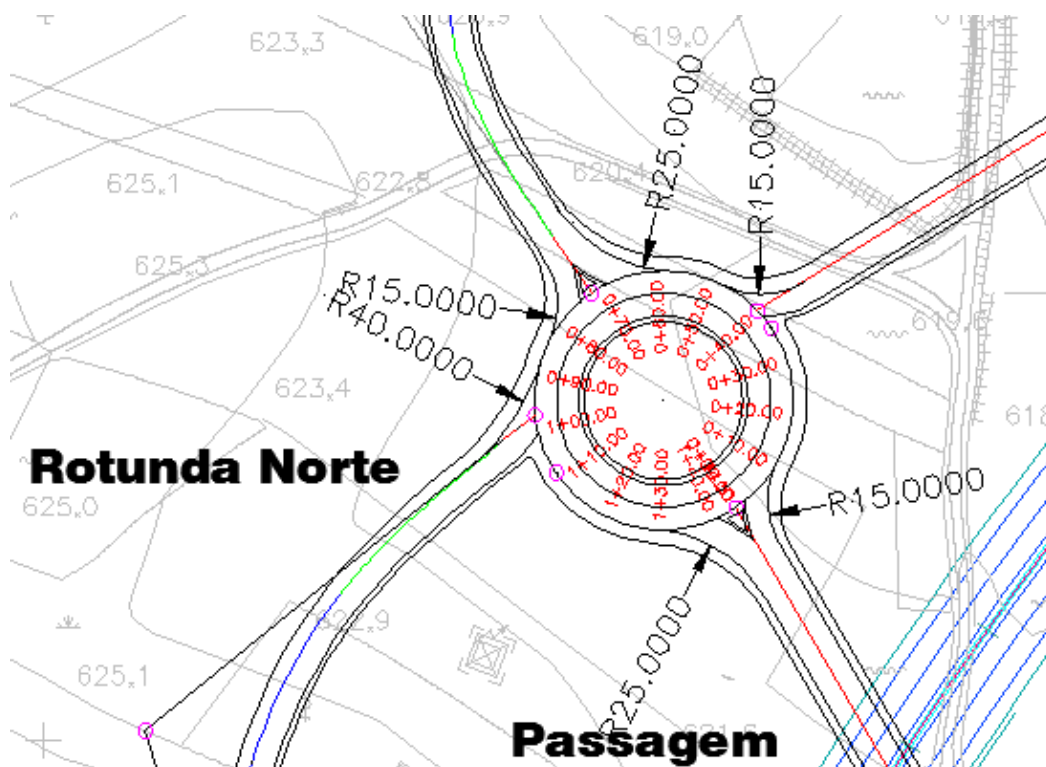


Fig.12 – Pormenor da Planta da Rotunda Norte

Como se pode verificar na figura 13, a rasante da rotunda norte, acompanha da melhor maneira possível o terreno existente, tendo dois traineis descendentes e um ascendente, com pouca inclinação e curvas de concordância de raios superiores a 600,0m.

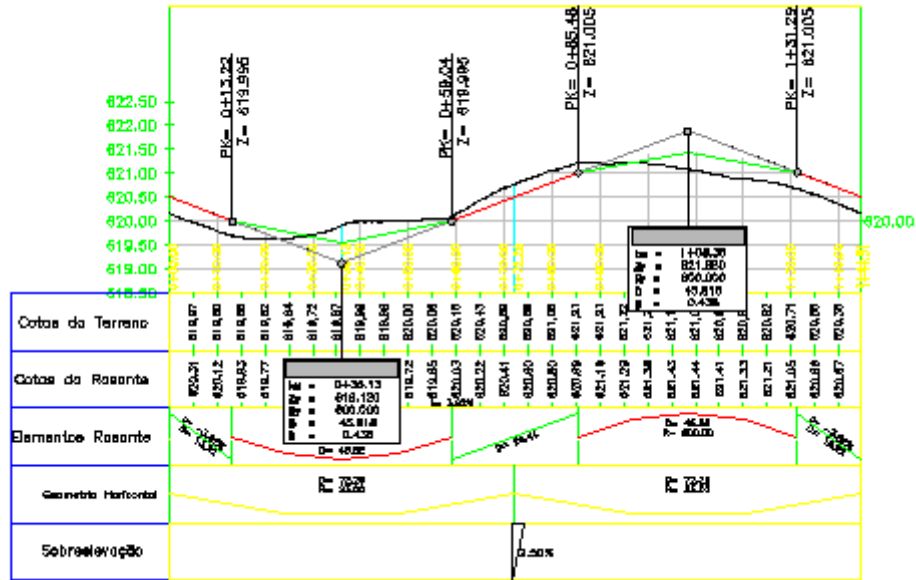


Fig.13 – Perfil Longitudinal Rotunda Norte

### 3.3.2. ROTUNDA SUL

A Rotunda Sul, que como o nome indica está localizada a sul da estrada principal. Esta rotunda teve que ser efectuada quase na sua totalidade em escavação de forma a cumprir a altura livre da passagem inferior na estrutura a ser construída. Este tipo de construção pode levar a alguns constrangimentos na evacuação das águas pluviais da rotunda. Este aspecto deve ser colmatado com a introdução de um tubo de escoamento no ponto mais baixo do perfil longitudinal (Ponto 0+108.38m) a escoar directamente para a zona mais acidentada a este da rotunda sul.

Para a definição da equação da rotunda é necessário indicar os pontos notáveis: O ponto inicial (coincidente com o ponto final) e o centro da rotunda, como estão explicados no quadro 7.

Quadro 7 – Pontos Notáveis Rotunda Sul

Rotunda Sul			
Ponto	Distância (m)	M	P
Inicial	0+00.000	94048,469	192131,605
Final	1+44.513		
Centro		94061,339	192112,543

Os raios utilizados na elaboração das entradas e saídas da rotunda, seguem o mesmo princípio da rotunda norte, apesar de estarem de acordo com as recomendações normativas, tendem a estar perto dos valores mínimos admissíveis, como se pode verificar na figura 14.

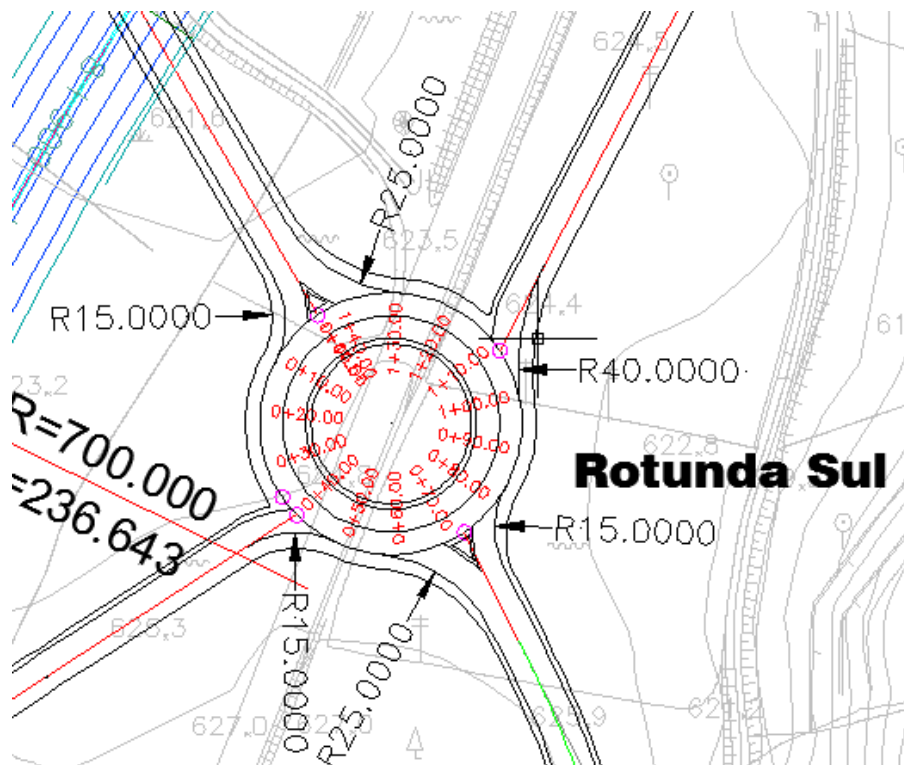


Fig.14 – Pormenor da Planta da Rotunda Sul

Como se pode verificar na figura 15, a rasante da rotunda sul, já não acompanha as cotas do terreno como a rotunda norte, sendo necessário maior volume de escavação, este tipo de solução explicada anteriormente, tem ainda respeito pelos raios das concordâncias superiores a 600m e traineis de declive baixo.

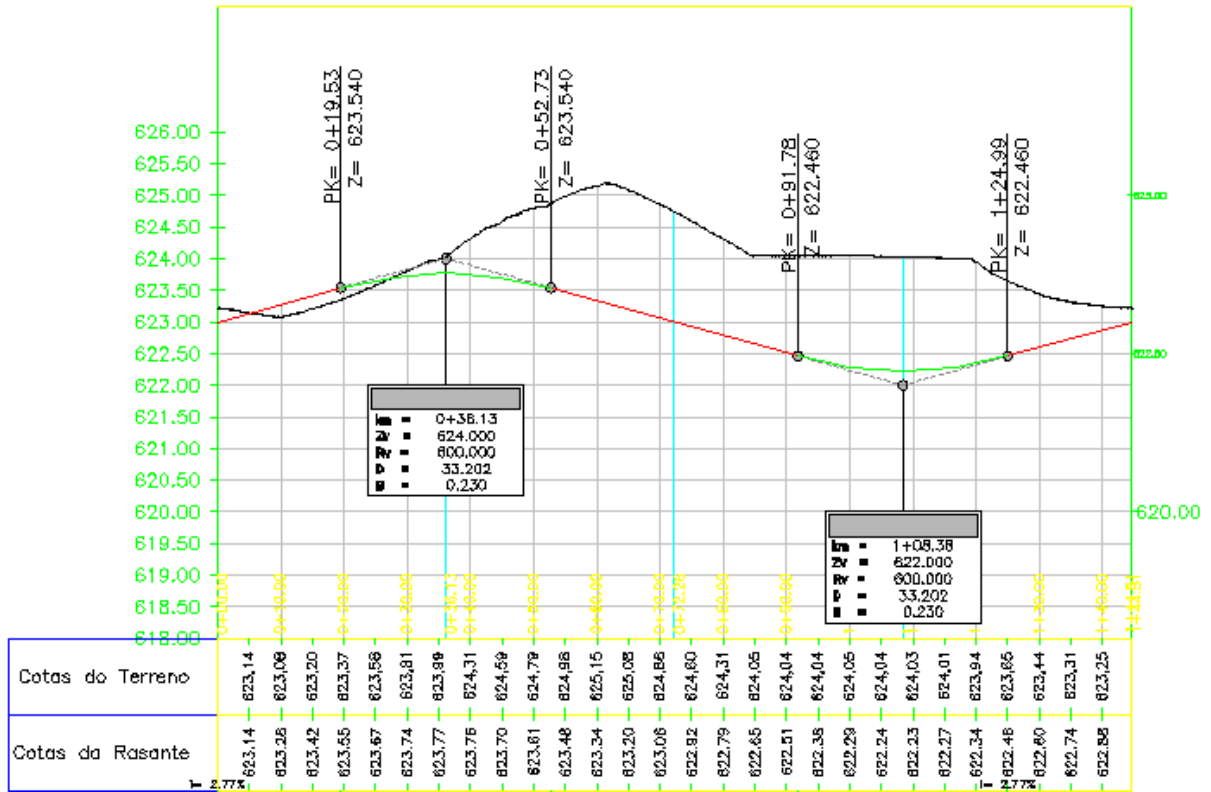


Fig.15 – Perfil Longitudinal Rotunda Sul

### 3.4. RESTABELECIMENTO

O restabelecimento das condições viárias existentes é muito importante no projecto de qualquer estrada. Muitas vezes é necessário criar condições para o restabelecimento de pequenos caminhos agrícolas para diminuir o impacto na vida das populações com a execução de uma nova estrada. No caso do problema dado, a continuidade de uma estrada é interrompida pela sobreposição da nova estrada em estudo. Além de garantir a ligação entre as duas estradas, vamos também garantir a continuidade desta.

Apesar de ter que ser pensada, os parâmetros geométrico-técnicos desta estrada serão mais limitados do que os da estrada principal, tendo sempre em conta aspectos como a segurança e a utilização normal pelos utentes desta via.

Este restabelecimento será constituído por 3 partes, restabelecimento Norte, Sul e a Passagem Inferior. Estes 3 troços terão características geométricas semelhantes, e dimensões de vias e bermas também iguais tendo 3,5m de dimensão de via e 1m de berma.

Pode-se ver um perfil transversal tipo dos restabelecimentos na figura 16.

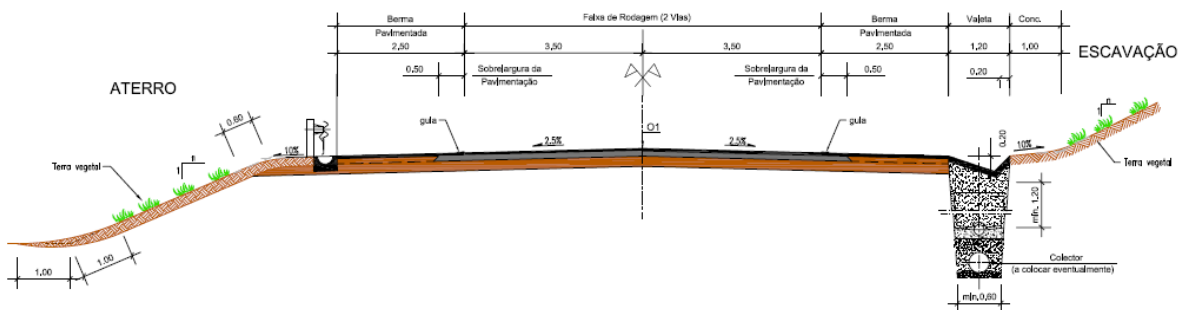


Fig.16 – Perfil Transversal Tipo dos Restabelecimentos

## 3.4.1. RESTABELECIMENTO NORTE

Este restabelecimento, é o elemento mais extenso de todo o projecto, devido á estrada principal, acompanhar durante algum tempo a estrada secundária, este tem que se prolongar por mais de um quilómetro para se encontrar com a estrada secundária, como se pode ver no pormenor da figura 17. Mesmo assim manteve-se a implantação o mais simples possível, sendo a maior parte dessa extensão em alinhamento recto como se pode ver no quadro 8 o restabelecimento tem um alinhamento recto de cerca de 844 metros.

Não foi possível neste caso realizar uma sequência de curvas e contracurvas de raio reduzido na aproximação á rotunda (como se pode ver na figura 18) já que para efectuar esse tipo de sequência teria que se fazer movimentação das torres de alta tensão existentes e que têm um alinhamento entre a estrada a ser construída e este restabelecimento.

Quadro 8 – Pontos Notáveis da Implantação do Restabelecimento Norte

Restabelecimento Norte				
Ponto	Distância (m)	M	P	
Inicial	0+00,00	93963,1306	192272,1957	Alinhamento Recto
O AR-CL	0+12,34	93956,2248	192282,4246	Curva 1
O CL-CC	0+52,84	93938,4110	192318,4684	
CCC		93987,5222	192327,8539	
O CC-CL	0+93,10	93946,7232	192356,7579	Curva 2
O CL-AR	0+133,60	93977,8785	192382,171	
L=844,811 m				
O AR-CL	0+978,41	94698,3551	192823,3281	Curva 2
O CL-CC	0+998,66	94715,2505	192834,4742	
CCC		94654,6783	192914,0417	
O CC-CL	1+012,07	94725,3417	192843,2839	Alinhamento Recto
O CL-AR	1+032,32	94738,6663	192858,5202	
Final	1+086,70	94773,0618	192900,6376	

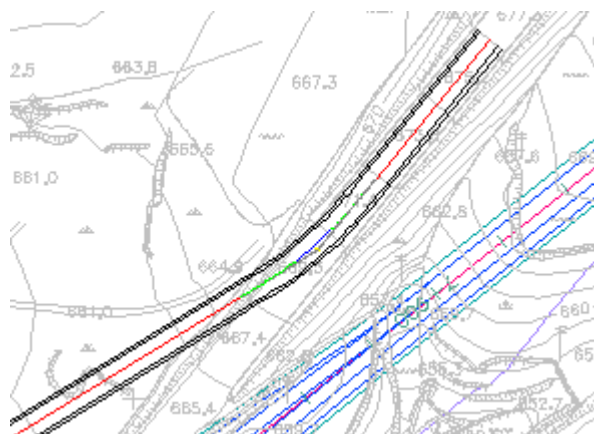


Fig.17 – Pormenor da Planta do Ponto Final do Restabelecimento Norte

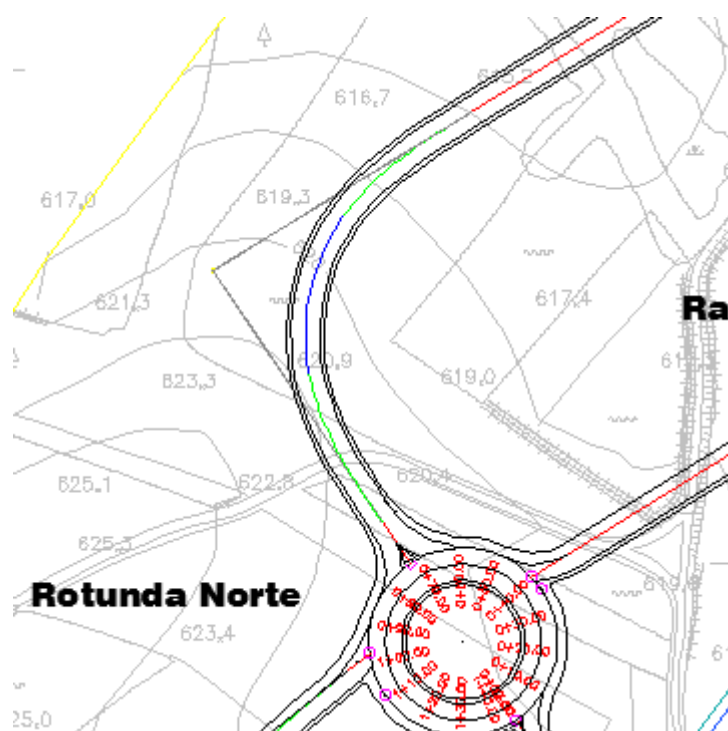


Fig.18 – Pormenor da Planta do Ponto Inicial do Restabelecimento Norte

## 3.4.2. RESTABELECIMENTO SUL

Este restabelecimento, que liga a rotunda sul á parte sul da estrada já existente, tem pouco mais de 150 metros de extensão, ao contrário do restabelecimento Norte, que é muito mais extenso.

Foi projectado de forma a criar uma sequência de curvas e contracurvas de raio reduzido para que os condutores entrem na rotunda com uma velocidade reduzida, como se pode ver na figura 19.

O alinhamento deste restabelecimento foi cuidadosamente pensado para não interferir com o edificado, embora apenas se tivesse que mover um poste telefónico, foi considerado que se poderia ter uma solução que tivesse um bom compromisso entre uma boa geometria e a não movimentação do edificado.

Quadro 9 – Pontos Notáveis da Implantação do Restabelecimento Sul

Restabelecimento Sul				
Ponto	Distância (m)	M	P	
Inicial	0+00,00	94074,2080	192093,4801	Alinhamento Recto
O AR-CL	0+21,47	94083,8243	192074,2785	Curva 1
O CL-CC	0+50,40	94094,9468	192047,6331	
CCC		94027,2576	192029,7959	
O CC-CL	1+22,38	94077,4808	191981,0349	
O CL-AR	1+51,31	94054,7131	191963,2775	Curva 2
L=56,703 m				
O AR-CL	2+08,02	94007,7082	191931,5637	
O CL-CC	2+36,94	93984,9405	191913,8062	
CCC		94035,1637	191865,0453	Curva 2
O CC-CL	2+49,71	93976,9280	191903,886	
O CL-AR	2+78,64	93964,3579	191877,892	
Final	3+15,94	93950,4703	191843,2798	Alinhamento Recto

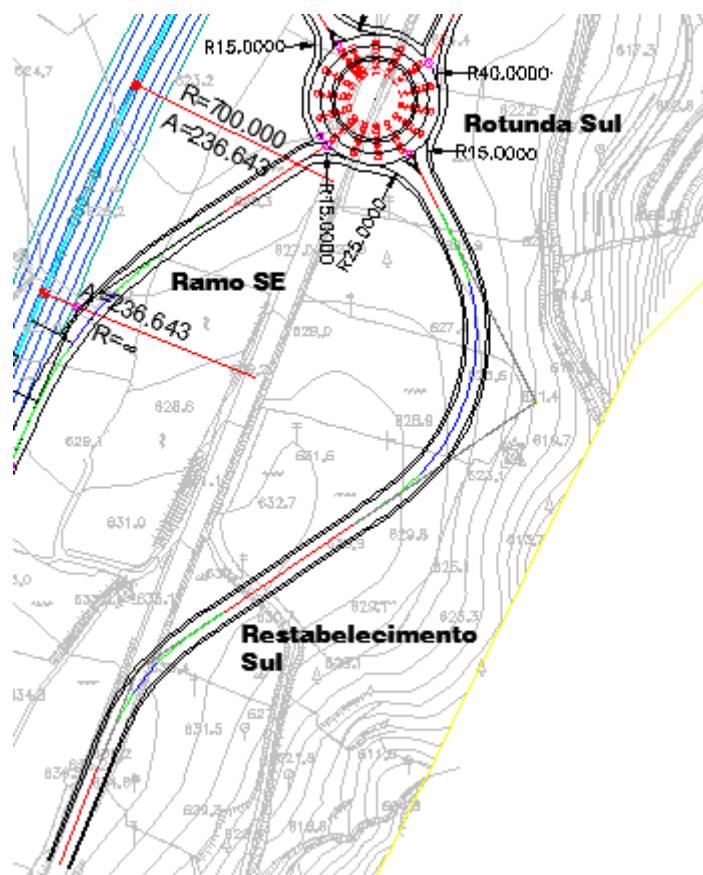


Fig.19 – Pormenor da Planta do Restabelecimento Sul

### 3.5. RAMOS DE LIGAÇÃO

Os ramos de ligação são os elementos que fazem a ligação entre estradas. Estes ramos em alinhamento recto e curvas de raios superiores a 90,0 metros, devem ter 4,0 metros de faixa de rodagem. As bermas têm que ser pavimentadas, de forma a servirem de escapatória em caso de necessidade, devem ter 2,5 metros de largura do lado direito e 1,0 metro de largura do lado esquerdo.

Curvas nos nós de ligação com raios inferiores a 90,0 metros terão necessidade de ter sobrelargura. Neste trabalho, tentou-se reduzir essa condição, colocando raios de curva superiores a esse limite.

Na figura 20, está demonstrada o perfil transversal tipo de um ramo de ligação.

Os ramos de ligação com extensões superiores a 300,0 metros devem ter uma zona intermédia de com duas vias, para facilitar ultrapassagem de veículos. Apesar desta norma, e no caso em estudo um ramo de ligação passar este limite por alguns metros, não se efectuou este tipo de solução já que o problema dado indica que o tráfego existente neste nó não justifica a construção de uma via dupla pois não se devem verificar constrangimentos e perdas de tempo excessivas no acesso á estrada principal.

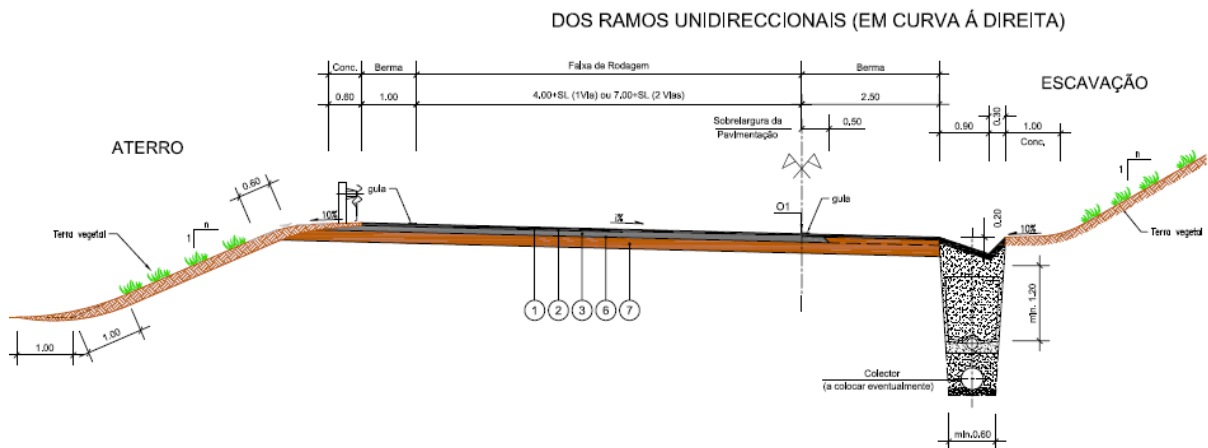


Fig. 20 – Perfil Transversal Tipo dos Ramos de Ligação

### 3.5.1. RAMO NOROESTE (NW)

O Ramo Noroeste (NW) é um ramo de ligação quase recto, pois a curva da estrada principal fá-lo ir praticamente sem curvar de encontro com esta, como se pode ver na figura 21.

O ponto inicial deste ramo foi considerado o ponto de osculação do ramo com o alinhamento da estrada principal. Sendo assim, o ponto inicial é um ponto de raio infinito, embora faça parte da curva composta de aproximação á estrada principal, como se pode verificar no quadro 10.

Quadro 10 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo NW

Ramo NW			
Ponto	Distância (m)	M	P
Inicial	0+00,00	94218,1103	192412,2866
O CL-CC	0+27,00	94196,7319	192395,7997
CCC		9402,7361	192638,7513
O CC-CL	0+35,99	94189,3720	192390,6346
O CL-AR	0+62,99	94166,5983	192376,1353
L=204,297 m			
Final	0+267,29	93992,6382	192269,013

Curva 1

Alinhamento Recto

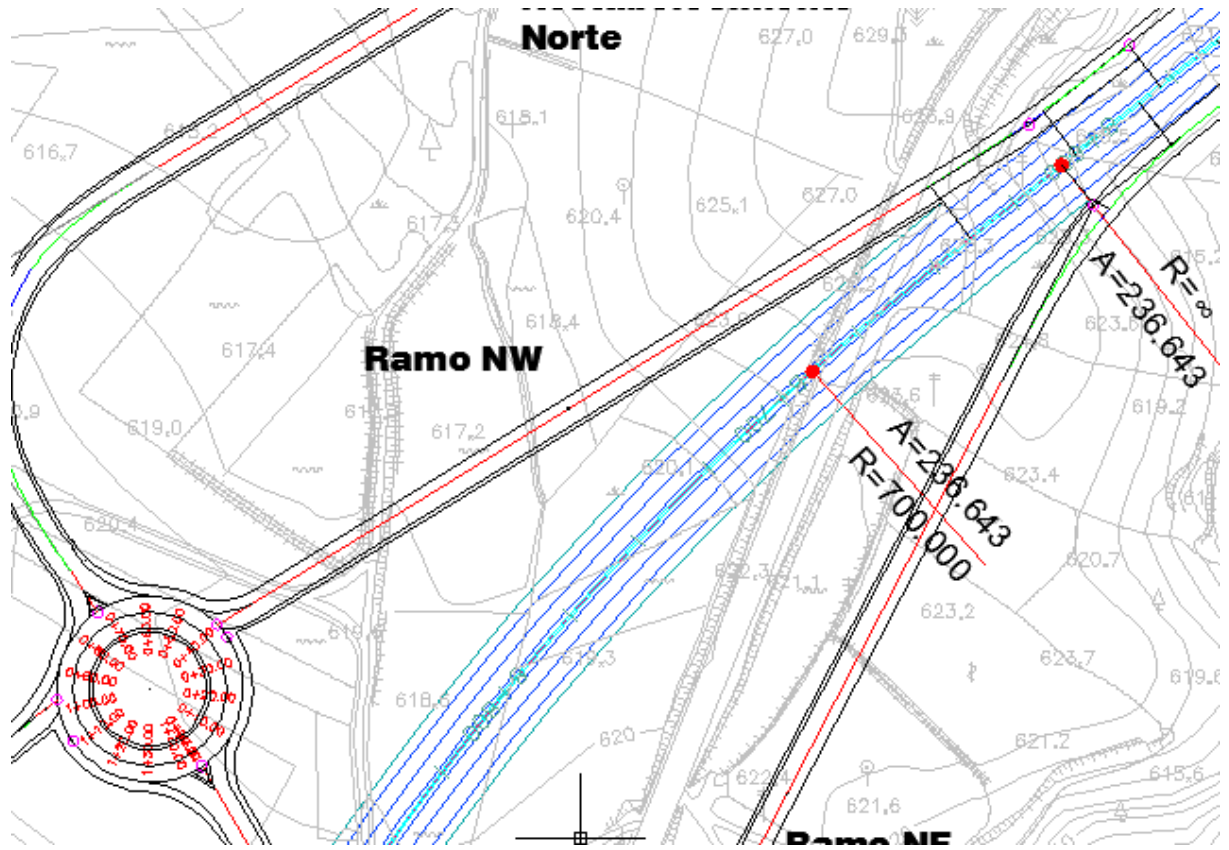


Fig.21 – Pormenor da implantação do Ramo NW

### 3.5.2. RAMO NORDESTE (NE)

O ramo de ligação localizado a noroeste, é um ramo particular. É o ramo mais longo dos quatro a ser projectados. Apesar de ter mais de 300 metros de extensão, por opção do autor não foi colocada uma segunda faixa de rodagem como referem as normas dos nós de ligação, isto porque o tráfego existente na estrada secundária e consequentemente a utilização desse ramo não se prevê intensiva, isso faz com que a componente económica seja preponderante e por opção não seja construída essa segunda faixa, que iria obrigar a um maior dispêndio de recursos.

O ponto inicial deste ramo foi considerado o ponto de osculação do ramo com o alinhamento da estrada principal. Sendo assim, o ponto inicial é um ponto de raio infinito, embora faça parte da curva composta de aproximação á estrada principal, como se pode ver no quadro 11.

Quadro 11 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo NE

Ramo NE			
Ponto	Distância (m)	M	P
Inicial	0+00,00	94247,7390	192403,1423
O CL-CC	0+46,875	94213,0875	192371,6923
CCC		94304,5925	192294,0595
O CC-CL	0+50,16	94210,9999	192369,1623
O CL-AR	0+97,03	94186,7002	192329,1704
L=229,811 m			
Final	0+326,84	94080,391	192125,4265

Curva 1

Alinhamento Recto

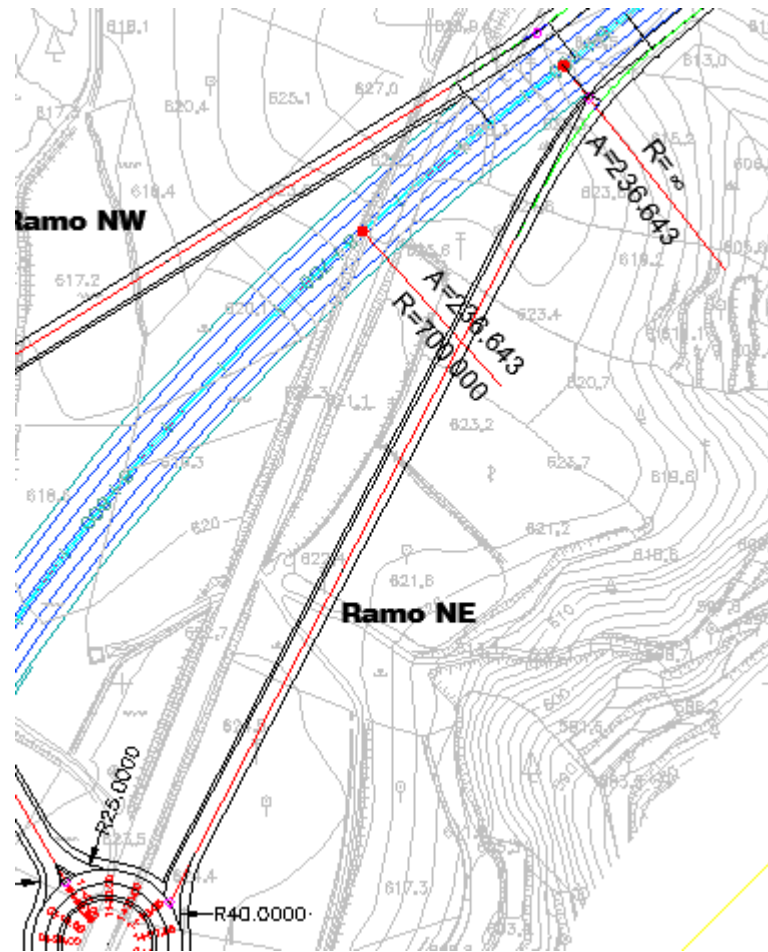


Fig.22 – Pormenor da implantação do Ramo NE

### 3.5.3. RAMO SUDOESTE (SW)

O ramo SW é o único ramo constituído por 2 curvas compostas. Esta solução foi adoptada, pelo motivo da existência de um poste de alta tensão, na zona de encontro deste nó com a rotunda Norte como se pode verificar no pormenor da figura 23.

O ponto inicial deste ramo foi considerado o ponto de osculação do ramo com o alinhamento da estrada principal. Sendo assim, o ponto inicial é um ponto de raio infinito, embora faça parte da curva composta de aproximação á estrada principal, como se pode verificar no quadro 12

Quadro 12 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo SW

Ramo SW				
Ponto	Distância (m)	M	P	
Inicial	0+00,00	93904,9288	191982,1377	
O CL-CC	0+46,88	93920,2361	192026,3589	
CCC		93802,7004	192050,5535	Curva 1
O CC-CL	0+84,50	93921,9687	192063,7854	
O CL-AR	0+131,37	93910,8126	192109,2317	
L=7,757 m				Alinhamento Recto
O AR-CL	0+138,94	93908,5336	192116,4503	
O CL-CC	0+178,94	93899,3661	192155,2955	
CCC		93989,0519	192162,809	Curva 2
O CC-CL	0+246,5	93918,3771	192218,5321	
O CL-AR	0+286,55	93947,4451	192245,8825	
L=7,343 m				Alinhamento Recto
Final	0+293,89	93953,1507	192250,505	

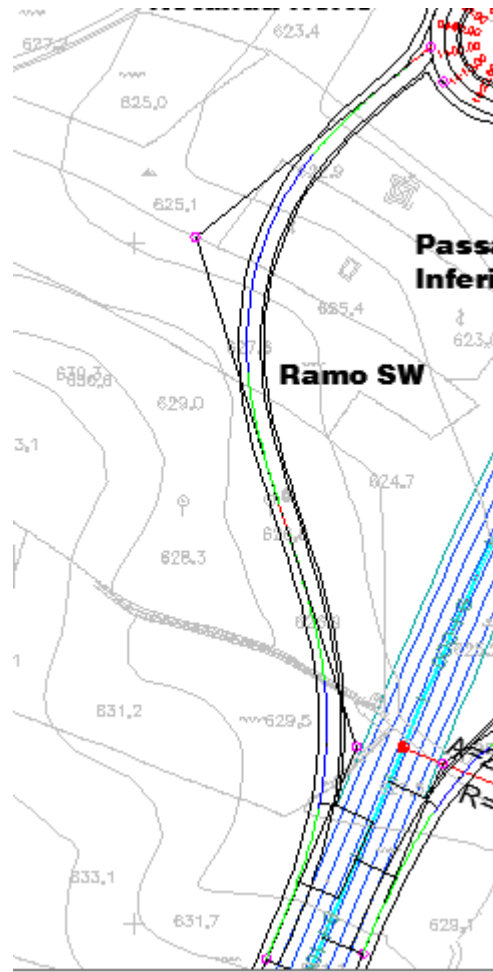


Fig.23 – Pormenor da implantação do Ramo SW

### 3.5.4. RAMO SUDESTE (SE)

O ramo Sudeste é o mais pequeno de todos tendo apenas cerca de 162 metros de comprimento. Esse facto faz com que este ramo tenha um declive muito acentuado que sai um pouco fora das normas. Como esse declive já foi descoberto numa fase mais avançada do projecto, entendeu-se deixar nestas condições, visto estar muito próximo do valor limite, e fazendo uma faixa de desaceleração mais sobredimensionada.

O ponto inicial deste ramo foi considerado o ponto de osculação do ramo com o alinhamento da estrada principal. Sendo assim, o ponto inicial é um ponto de raio infinito, embora faça parte da curva composta de aproximação á estrada principal, como se pode verificar no quadro 13.

Quadro 13 – Pontos Notáveis da Implantação do Ramo SE

Ramo SE			
Ponto	Distância (m)	M	P
Inicial	0+00,00	93933,3355	191983,6476
O CL-CC	0+46,88	93954,2553	192025,5068
CCC		94053,7211	191958,376
O CC-CL	0+71,65	93970,1311	192044,473
O CL-AR	0+118,53	94007,6546	192072,434
L=44,298 m			
Final	0+162,83	94044,8218	192096,5365

Curva 1

Alinhamento Recto

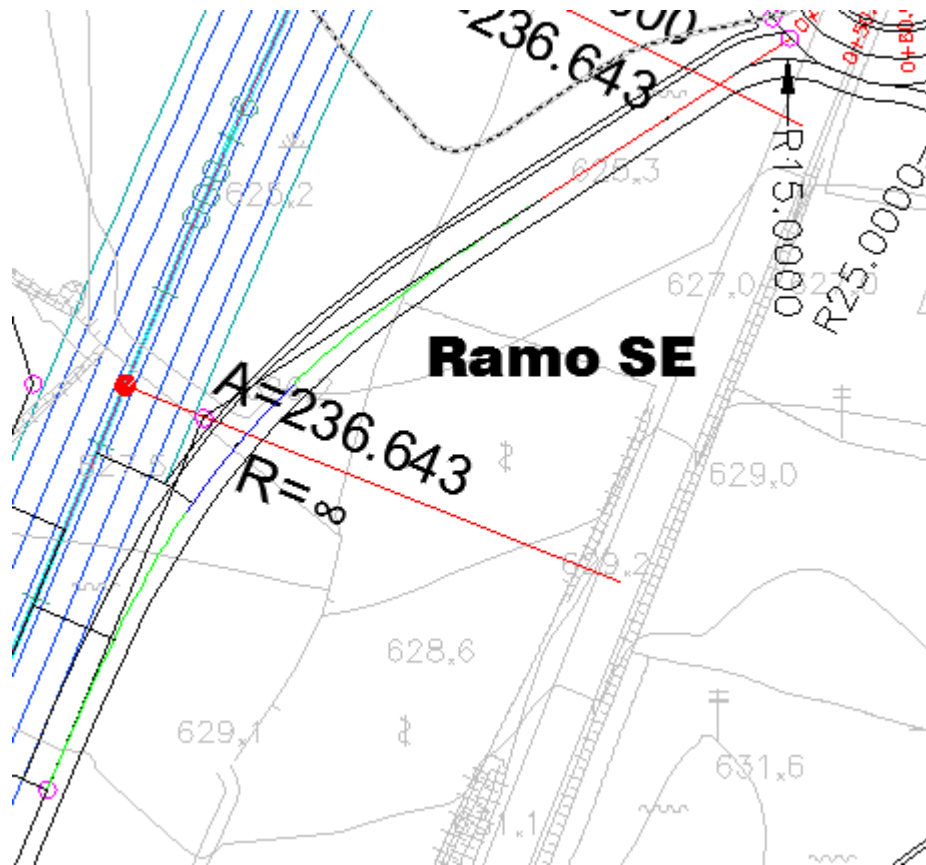


Fig.24 – Pormenor da implantação do Ramo SE

### 3.6. VIAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

As vias de variação de velocidade, podem ser de dois tipos: Vias de abrandamento e vias de aceleração. Embora sejam as últimas vias ou elementos a ser considerados na concepção de um projecto rodoviário, a sua importância não pode ser secundarizada, são elementos fundamentais para o funcionamento de um determinado nó de ligação entre estradas. Têm como principal objectivo proporcionar aos veículos que fazem mudança de estrada no nó de ligação adequar a sua velocidade á da via ou nó onde vão entrar. São elementos que aumentam em muito a segurança de um nó de ligação em relação aos outros tipos de intersecções.

Para dimensionar este tipo de vias utilizei as normas portuguesas para as vias de abrandamento e as normas espanholas para as vias de aceleração

#### 3.6.1. VIAS DE ABRANDAMENTO

As vias de abrandamento estão presentes na extremidade dos ramos Noroeste e Sudeste. As normas utilizadas foram as indicadas nos quadros 14 e 15, mas na extremidade das vias de abrandamento, coloquei um taper em vez do bisel que as normas indicam.

Quadro 14 – Comprimentos de EB (Fonte: Normas de Nós de Ligação, JAE)

VB (km/h)	≤90	100	120			
R (m)	≥15	≥25	40	45	50	≥60
EB (m)	80	110	145	135	125	110

Quadro 15 – Factores de correcção (Fonte: Normas de Nós de Ligação, JAE)

i (%)	Rampa	Declive
3 a 4	0,9	1,2
5 a 6	0,8	1,35

As extensões deste tipo de vias foram as seguintes: O ramo Noroeste tem uma via de abrandamento de extensão 110,0m e o ramo Sudeste tem uma extensão de 80,0m.

#### 3.6.2. VIAS DE ACELERAÇÃO

As vias de aceleração apenas se justificam em estradas do tipo 2x2 vias, já que por razões de económicas o custo de investimento a elas associado, é preponderante. As vias de aceleração devem ser do tipo paralelo e no mínimo ter uma largura de 3,5 metros.

Quadro 16 – Extensão da via de aceleração (Fonte: Normas Espanholas)

Vias de aceleração								
Velocidade específica do ramal (km/h)	STOP	25	30	40	50	60	80	
Raio mínimo da curva (m)		15	25	45	75	120	250	
Estradas com grandes intensidades de tráfego								
Velocidade (km/h)	Raio "taper" (m)	Extensão da via de aceleração incluindo "taper" (m)						
50	45	90	70	55	45	----	----	----
60	55	140	120	105	90	55	----	----
70	60	185	185	150	135	100	60	----
80	65	235	215	200	185	150	105	----
100	75	340	320	305	290	255	210	105
120	90	435	425	410	390	360	300	210
Outras estradas								
50	45	55	45	45	45	----	----	----
60	55	90	75	65	55	55	----	----
70	60	125	110	90	75	60	60	----
80	65	165	150	130	110	85	65	----
100	75	255	235	220	200	170	120	75
120	90	340	320	300	275	250	195	100

E os factores correctivos de forma a corrigir as distâncias das vias de aceleração com o declive dos traínos existentes na estrada principal, explicados no quadro 17.

Quadro 17 – Factores correctivos Via de Aceleração (Fonte: Normas Espanholas)

Vias de aceleração - Factor correctivo							
Inclinação E.P. (%)	Velocidade de estrada (km/h)	Velocidade específica no ramal de ligação (km/h)					
		30	40	50	60	80	Todas
3 a 4	50	1,3	1,3	----	----	----	0,7
	60	1,3	1,3	1,3	----	----	0,7
	70	1,3	1,3	1,3	1,3	----	0,65
	80	1,4	1,4	1,4	1,4	----	0,65
	100	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	0,6
	120	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	0,6
5 a 6	50	1,5	1,5	----	----	----	0,6
	60	1,5	1,5	1,5	----	----	0,6
	70	1,5	1,5	1,6	1,6	----	0,55
	80	1,6	1,6	1,7	1,8	----	0,55
	100	1,8	1,9	2	2,2	2,6	0,5
	120	2,1	2,2	2,3	2,6	3,1	0,5

As vias de aceleração estão presentes neste projecto na extremidade dos ramos Nordeste e Sudoeste, e terminam com um taper de 65,0 m de raio. Foram utilizados valores pelo lado da segurança neste caso, visto a estrada principal ter um declive acentuado em algumas zonas. Assim sendo no Ramo NE a via de aceleração tem 145,0m e no Ramo SW tem 65,0m.

### 3.6.3. TAPER

O taper utilizado foi de raio 65,0 m, conforme as normas espanholas referenciam, nas 4 situações que podiam ter este tipo de elemento. Este elemento pode ser substituído por um bisel para situações de tráfego menos volumoso. Optou-se por utilizar este tipo de solução já que em termos económicos não faz muita diferença para o bisel e não “empurra” sucessivamente o condutor para a faixa de rodagem da estrada principal, dando tempo ao condutor para se ambientar às novas condições de circulação.

# 4

## APRECIÇÕES FINAIS

As dificuldades encontradas na elaboração deste projecto e consequente elaboração desta dissertação foram de variados tipos. E se algumas fossem de componente técnica para as quais o meu orientador sempre teve uma resposta esclarecedora, houve algumas que tiveram que ser respondidas através da autodidáctica e muitas vezes por tentativa erro, apesar da objectividade dos projectos de engenharia não serem muito compatíveis com este tipo de situação.

A utilização do software de desenho assistido por computador, já referenciado anteriormente, e a minha inexperiência na utilização deste levou-me a dar passos muito curtos no início desta dissertação. O AutoCAD, embora seja um software poderosíssimo, tem um vasto campo de aplicação, para se tornar uma ferramenta útil tem que ser configurado de forma a automatizar todo o processo que queremos conceber. Essa configuração aliada á falta de dados em suporte informático em relação às cotas de terreno e ambiente topográfico, levou-me a sucessivos atrasos, que um a um, consegui de alguma forma contornar.

O software, revelou-se no final bastante útil e automatizador de processos, e bastante útil na definição de variadas soluções para concluir sempre uma que fosse melhor. É sem dúvida uma ferramenta muito importante na elaboração de qualquer projecto de engenharia civil.

Tendo em conta todas as possíveis soluções que poderiam existir é-me de facto de todo impossível dizer que é uma solução óptima, pois posso ter partido de premissas erradas, como a não valorização da estrada secundária, em relação ao tráfego que esta apresenta. Posso também ter cometido o erro de numa fase do desenrolar do projecto, ter tomado uma ou outra decisão que embora mais tarde tenha visto como menos acertada, esta já tinha condicionado toda a concepção do projecto, não havendo outra alternativa que continuar com a solução já pensada.

Outra das grandes dificuldades que tive na elaboração desta dissertação foi sem dúvida a inexistência de normas que apoiem o dimensionamento das rotundas deste tipo de nó, fazendo com que o nó seja estudado na soma das suas partes e não como um todo, ao contrário do que acontece com outro tipo de nós. A bibliografia mais utilizada no apoio a esta dissertação foi as “Normas de Nós de Ligação” da já extinta Junta Autónoma de Estradas, embora outros registos bibliográficos tenham também sido utilizados.



## **BIBLIOGRAFIA**

Bastos, Silva AMC, Seco AJM, Picado-Santos LG, 1998 – *O dimensionamento e projecto de Rotundas – O estado de arte*, Edição FCTUC, Coimbra, Portugal

INIR, 2010 – *Norma de traçado Revisão*, Engivía com o apoio do LNEC, Edição INIR, Lisboa-Portugal

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

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

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

*Sebenta de Vias de Comunicação I*, FEUP, 1995

*Sebenta de Vias de Comunicação II*, FEUP, 1995

*Tópicos e Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos*

*Apontamentos de Circulação e Transportes I – Intersecções Prioritárias*, FEUP



## **ANEXOS**

**ANEXO 1 – RASANTE DO RAMO NW**

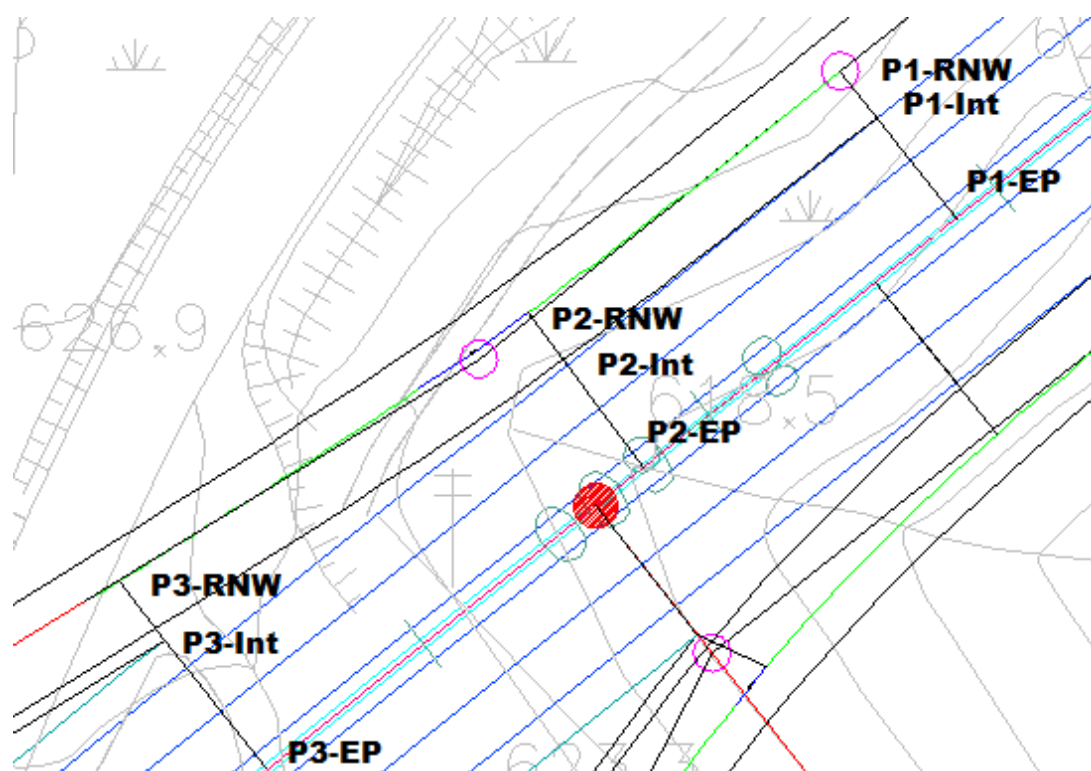


Fig.25 – Pormenor dos Pontos de Estudo da Rasante do Ramo NW

Quadro 18 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo NW	
Estudo do Ponto P1-EP	
Km da Estrada	8+578,38
Cota P1-EP (m)	629,0439
Estudo do Ponto P1-Int	
Raio da Curva (m)	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	8,8
Cota P1-Int (m)	628,8239
Estudo do Ponto P1-RNW	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	2,50%
Cota P1-RNW (m)	628,7239
Extensão do Ramo	0+000

Quadro 19 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo NW	
Estudo do Ponto P2-EP	
Km da Estrada	8+605,712
Cota P2-EP (m)	628,01725

Estudo do Ponto P2-Int	
Raio da Curva (m)	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	9,217
Cota P1-Int (m)	627,786825

Estudo do Ponto P2-RNW	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	4,00%
Cota P1-RNW (m)	627,686825
Extensão do Ramo	27,332

Quadro 20 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo NW	
Estudo do Ponto P3-EP	
Km da Estrada	8+638,665
Cota P1-EP (m)	627,3022

Estudo do Ponto P3-Int	
Raio da Curva (m)	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	11,3
Cota P1-Int (m)	627,0197

Estudo do Ponto P3-RNW	
Distancia RNW (m)	5
SE do Ramo	2,64%
Cota P1-RNW (m)	626,8897
Extensão do Ramo	60,285

**ANEXO 2 – RASANTE DO RAMO NE**

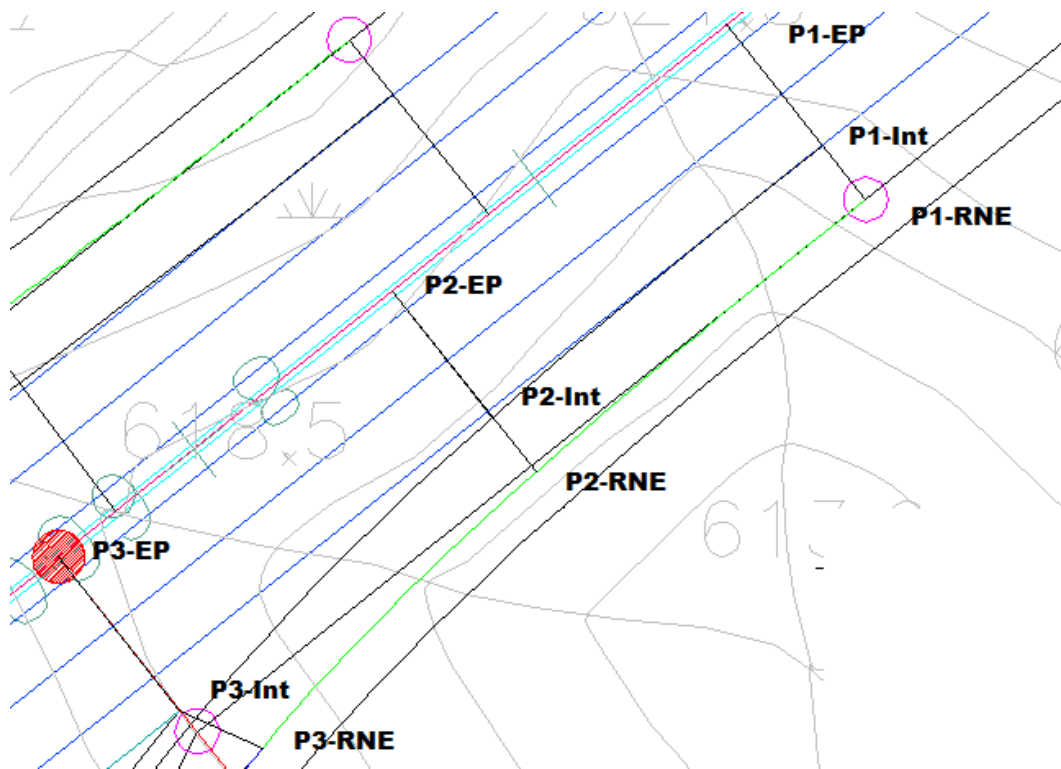


Fig.26– Pormenor dos Pontos de Estudo da Rasante do Ramo NE

Quadro 21 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo NE	
Estudo do Ponto P1-EP	
Km da Estrada	8+560,884
Cota P1-EP (m)	629,6734
Estudo do Ponto P1-Int	
Raio da Curva (m)	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	8,8
Cota P1-Int (m)	629,4534
Estudo do Ponto P1-RNE	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	2,50%
Cota P1-RNW (m)	629,3534
Extensão do Ramo	0+000

Quadro 22 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo NE	
Estudo do Ponto P2-EP	
Km da Estrada	8+585,393
Cota P2-EP	628,8016

Estudo do Ponto P2-Int	
Raio da Curva (m)	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	9,231
Cota P1-Int	628,570825

Estudo do Ponto P2-RNE	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	3,25%
Cota P1-RNW (m)	628,440825
Extensão do Ramo	24,509

Quadro 23 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo NE	
Estudo do Ponto P3-EP	
Km da Estrada	8+609,903
Cota P1-EP	628,0501
Estudo do Ponto P3-Int	
Raio da Curva (m)	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	11,3
Cota P1-Int	627,7676
Estudo do Ponto P3-RNE	
Distancia RNW (m)	5
SE do Ramo	4,00%
Cota P1-RNW (m)	627,5676
Extensão do Ramo	49,018

**ANEXO 3 – RASANTE DO RAMO SW**

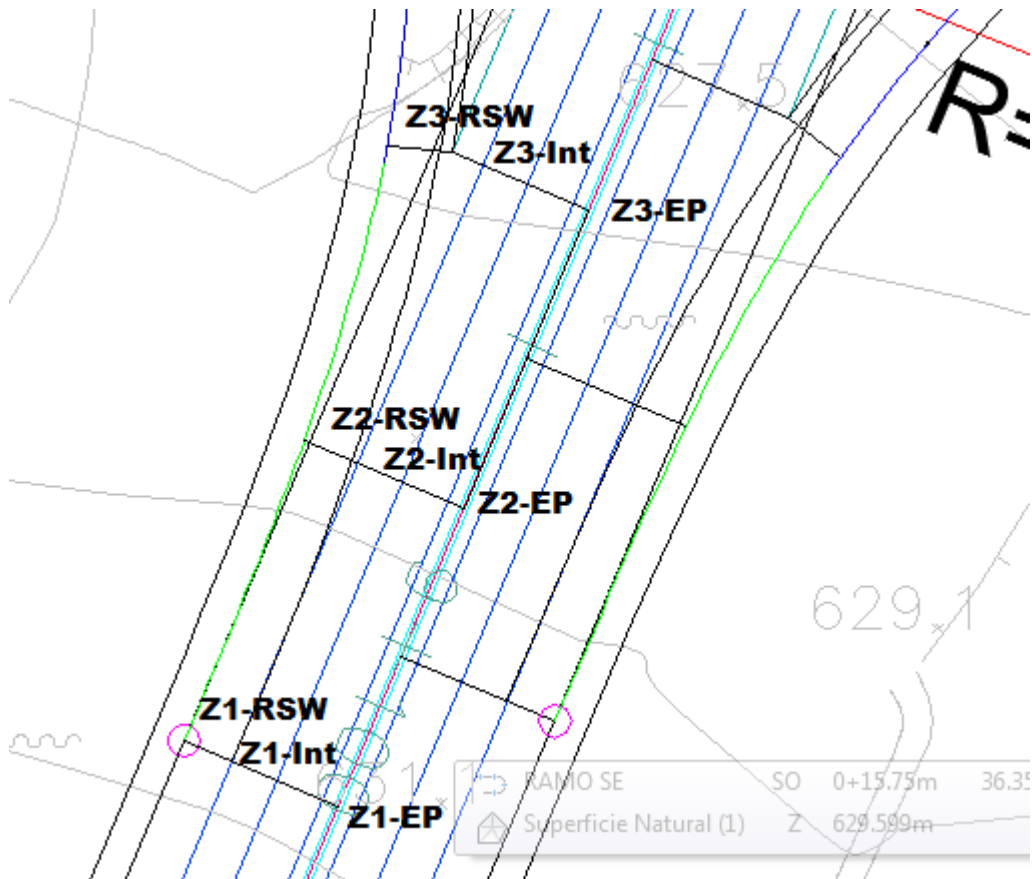


Fig.27 – Pormenor dos Pontos de Estudo da Rasante do Ramo SW

Quadro 24 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo SW	
Estudo do Ponto P1-EP	
Km da Estrada	9+113,325
Cota P1-EP (m)	628,9564
Estudo do Ponto P1-Int	
Raio da Curva EP	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	8,8
Cota P1-Int (m)	628,7364
Estudo do Ponto P1-RSW	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	2,50%
Cota P1-RNW (m)	628,6364
Extensão do Ramo	0+000

Quadro 25 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo SW	
Estudo do Ponto P2-EP	
Km da Estrada	9+088,519
Cota P2-EP (m)	628,992
Estudo do Ponto P2-Int	
Raio da Curva EP	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	9,242
Cota P1-Int (m)	628,76095
Estudo do Ponto P2-RSW	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	3,25%
Cota P1-RNW (m)	628,63095
Extensão do Ramo	23,4375

Quadro 26 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo SW	
Estudo do Ponto P3-EP	
Km da Estrada	9+063,804
Cota P1-EP (m)	628,9665

Estudo do Ponto P3-Int	
Raio da Curva EP	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	11,3
Cota P1-Int (m)	628,684

Estudo do Ponto P3-RSW	
Distancia RNW (m)	5
SE do Ramo	4,00%
Cota P1-RNW (m)	628,484
Extensão do Ramo	48,171

ANEXO 4 – RASANTE DO RAMO SE

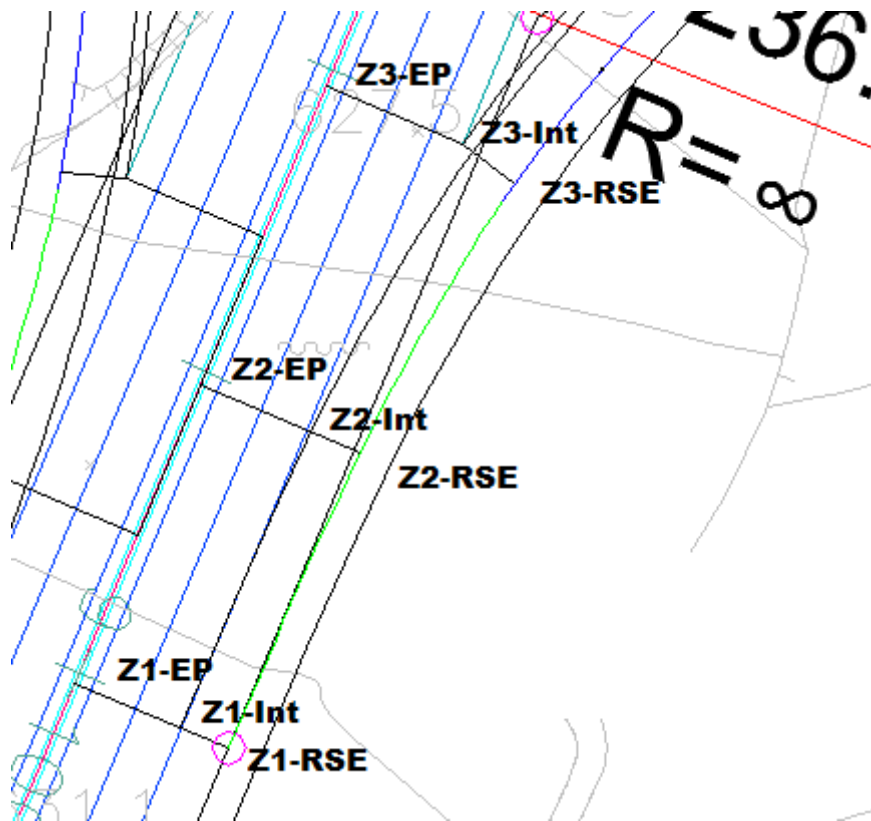


Fig.28– Pormenor dos Pontos de Estudo da Rasante do Ramo SE

Quadro 27 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo SE	
Estudo do Ponto P1-EP	
Km da Estrada	9+100,817
Cota P1-EP (m)	628,982
Estudo do Ponto P1-Int	
Raio da Curva EP	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	8,8
Cota P1-Int (m)	628,762
Estudo do Ponto P1-RSE	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	2,50%
Cota P1-RNW (m)	628,662
Extensão do Ramo	0+000

Quadro 28 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo SE	
Estudo do Ponto P2-EP	
Km da Estrada	9+076,111
Cota P2-EP (m)	628,9307

Estudo do Ponto P2-Int	
Raio da Curva EP	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	9,242
Cota P1-Int (m)	628,69965

Estudo do Ponto P2-RSE	
Distancia RNW (m)	4
SE do Ramo	3,25%
Cota P1-RNW (m)	628,56965
Extensão do Ramo	23,44

Quadro 29 – Determinação de Cotas Para Concordância Ramo – Estrada Principal

Ramo SE	
Estudo do Ponto P3-EP	
Km da Estrada	9+051,397
Cota P1-EP (m)	628,9868

Estudo do Ponto P3-Int	
Raio da Curva EP	Infinito
SE da EP	2,50%
Distancia EP (m)	11,3
Cota P1-Int (m)	628,7043

Estudo do Ponto P3-RSE	
Distancia RNW (m)	5
SE do Ramo	4,00%
Cota P1-RNW (m)	628,5043
Extensão do Ramo	48,171

### ANEXO 5 – RASANTE DO RESTABELECIMENTO NORTE

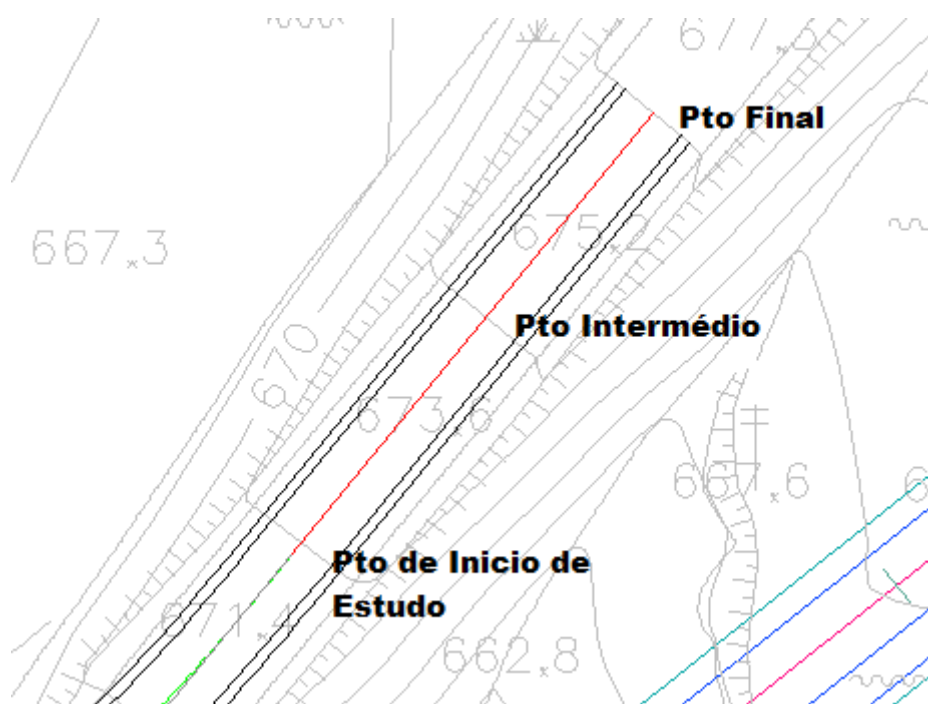
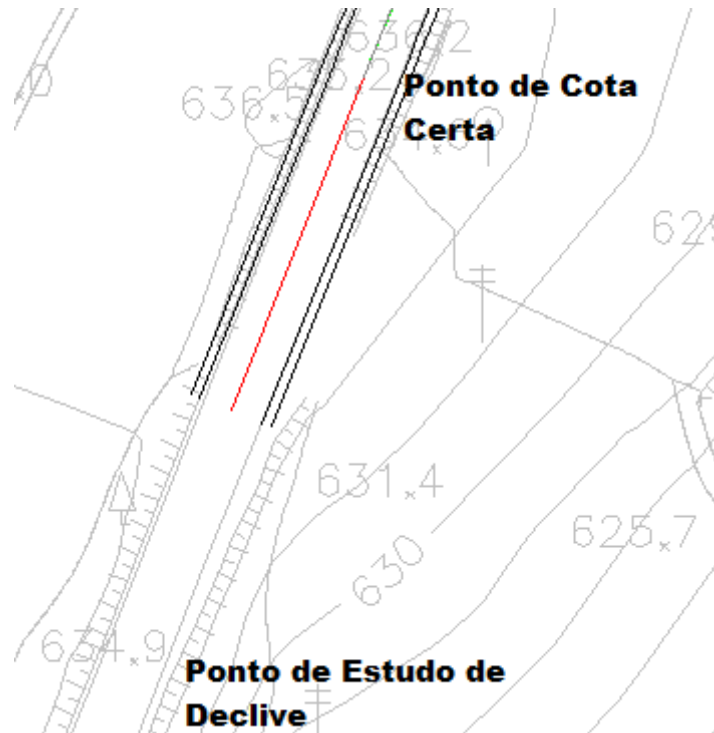


Fig.29 – Pormenor dos Pontos de Estudo da Rasante do Restabelecimento Norte

Quadro 30 – Determinação de Cotas Para Restabelecimento

Ponto Final	676,0 m
Distancia 24,953m	
Ponto Intermédio	674,0 m
Distancia 26,893m	
Ponto Início de Estudo	672,0 m

**ANEXO 6 – RASANTE DO RESTABELECIMENTO SUL**



## **ÍNDICE DE DESENHOS**

Desenho 1 – Planta com Pormenor da Implantação da Estrada Principal

Desenho 2 – Perfil Longitudinal – Ramo SW

Desenho 3 – Perfil Longitudinal – Ramo NW

Desenho 4 - Perfil Longitudinal – Ramo NE

Desenho 5 - Perfil Longitudinal – Ramo SE

Desenho 6 – Perfil Longitudinal – Rotunda Sul e Rotunda Norte

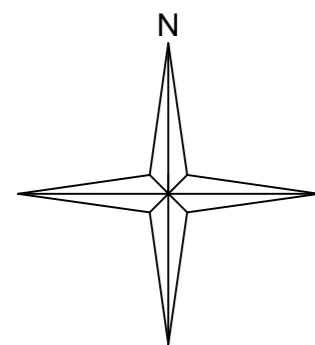
Desenho 7 – Perfil Longitudinal – Passagem Inferior

Desenho 8 – Planta Geral

Desenho 9 – Planta Pormenor Restabelecimento Sul

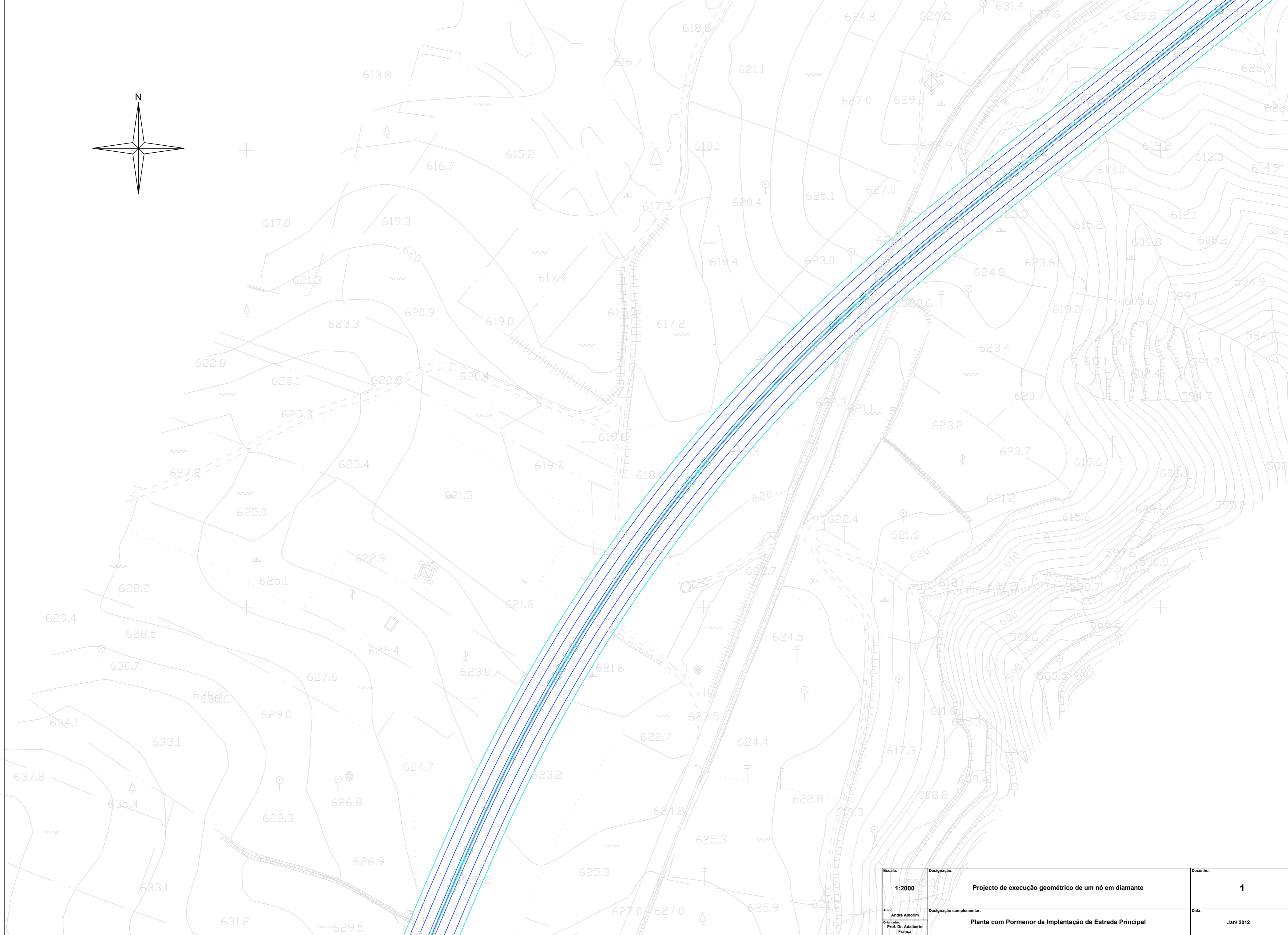
Desenho 10 – Perfil Longitudinal Restabelecimento Norte

Desenho 11 - Perfil Longitudinal Restabelecimento Sul



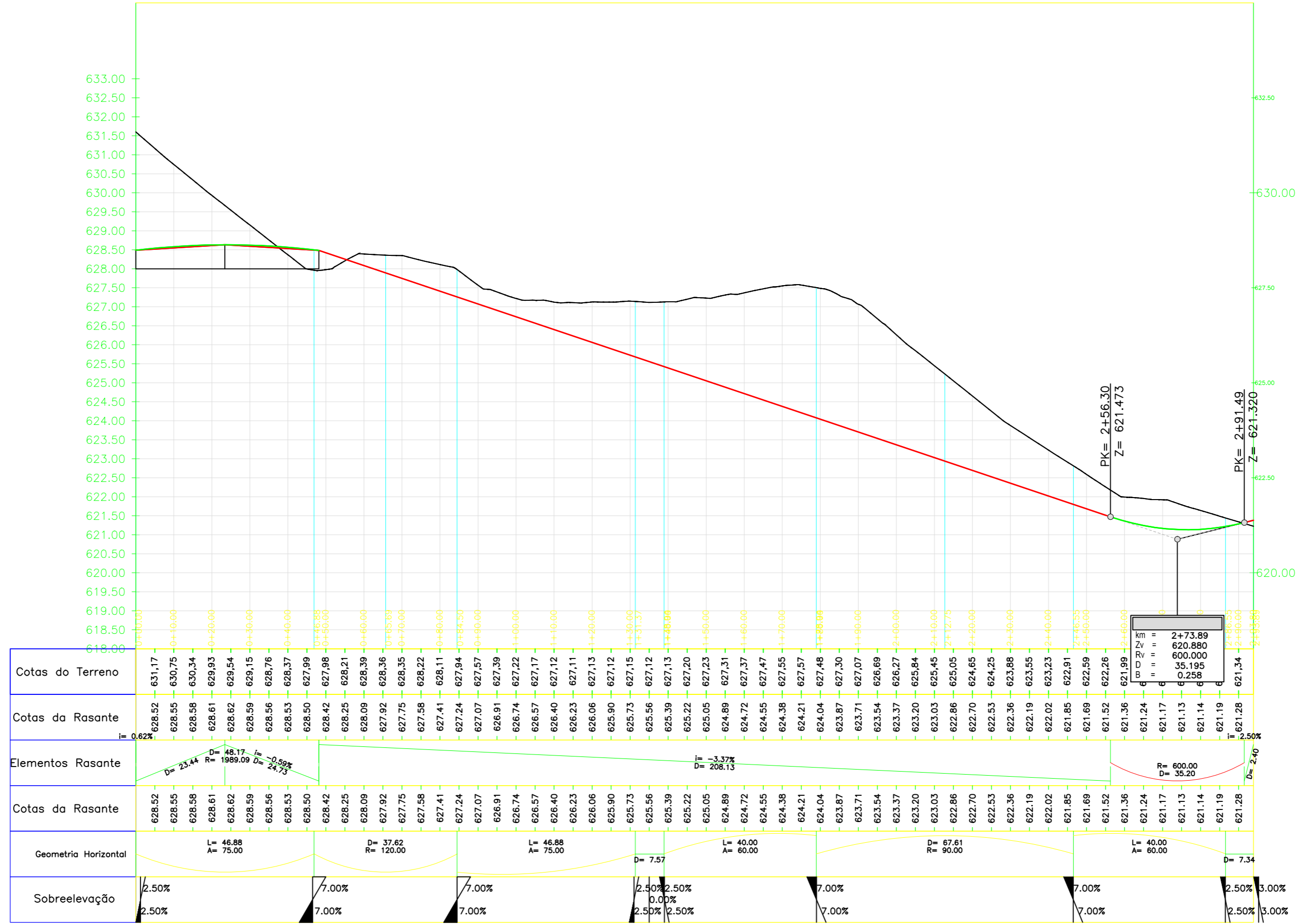
CRIADO POR UM PRODUTO EDUCACIONAL DA AUTODESK

CRIADO POR UM PRODUTO EDUCACIONAL DA AUTODESK



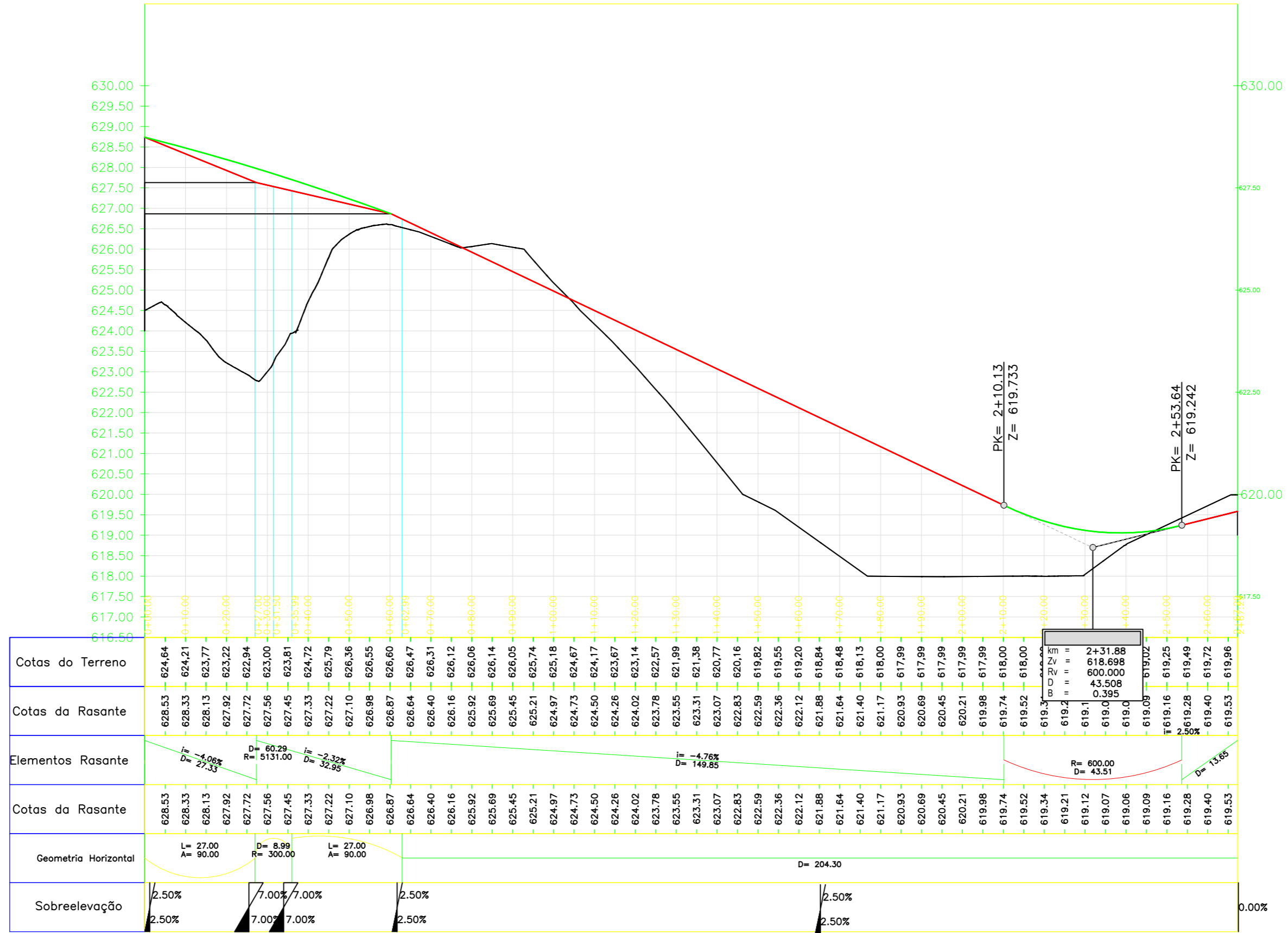
Escala: <b>1:2000</b>	Designação: <b>Projecto de execução geométrico de um nó em diamante</b>	Desenho: <b>1</b>
Autor: André Amorim Orientador: Prof. Dr. Adalberto França	Designação complementar: <b>Planta com Pormenor da Implantação da Estrada Principal</b>	Data: Jan/ 2012

# Perfil Longitudinal RAMO SW



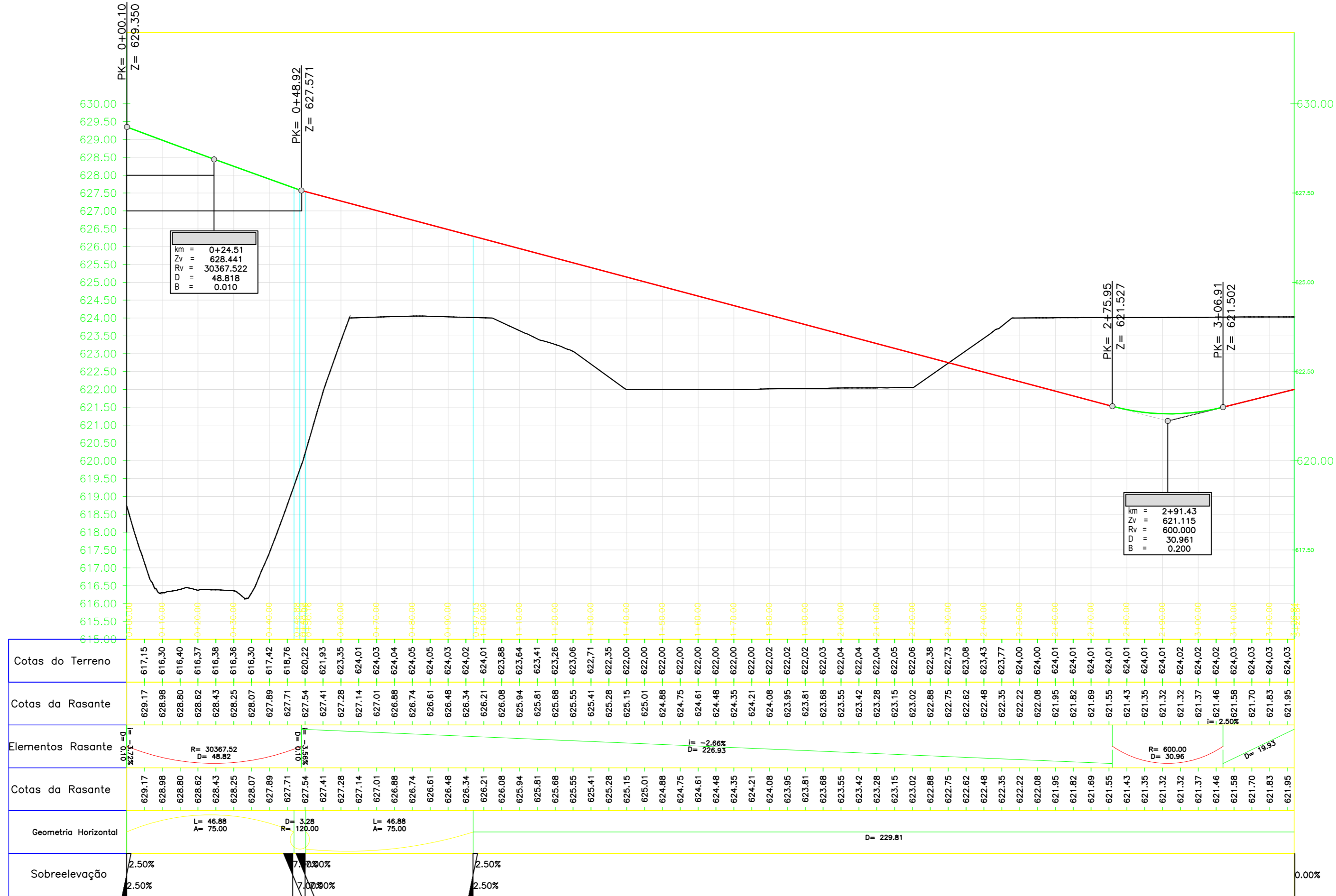
Escala: <b>H - 1:1000</b> <b>V - 1:100</b>	Designação: <b>Projecto de execução geométrico de um nó em diamante</b>	Desenho: <b>2</b>
Autor: André Amorim Orientador: Prof. Dr. Adalberto França	Designação complementar: <b>Perfil Longitudinal - Ramo SW</b>	Data: Jan/ 2012

# Perfil Longitudinal RAMO NW

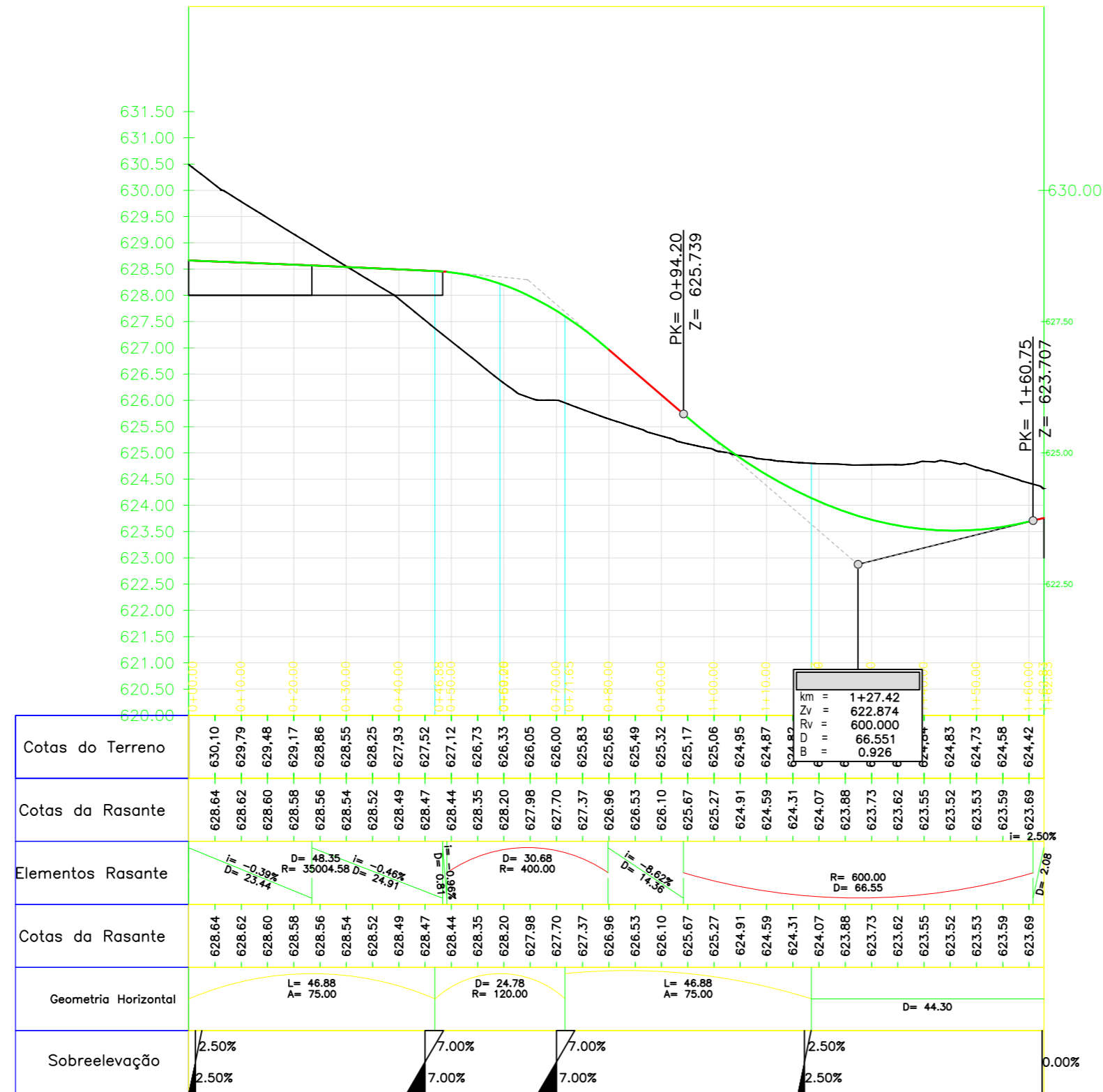


Escala: <b>H - 1:1000</b> <b>V - 1:100</b>	Designação: <b>Projecto de execução geométrico de um nó em diamante</b>	Desenho: <b>3</b>
Autor: André Amorim Orientador: Prof. Dr. Adalberto França	Designação complementar: <b>Perfil Longitudinal - Ramo NW</b>	Data: Jan/ 2012

# Perfil Longitudinal RAMO NE



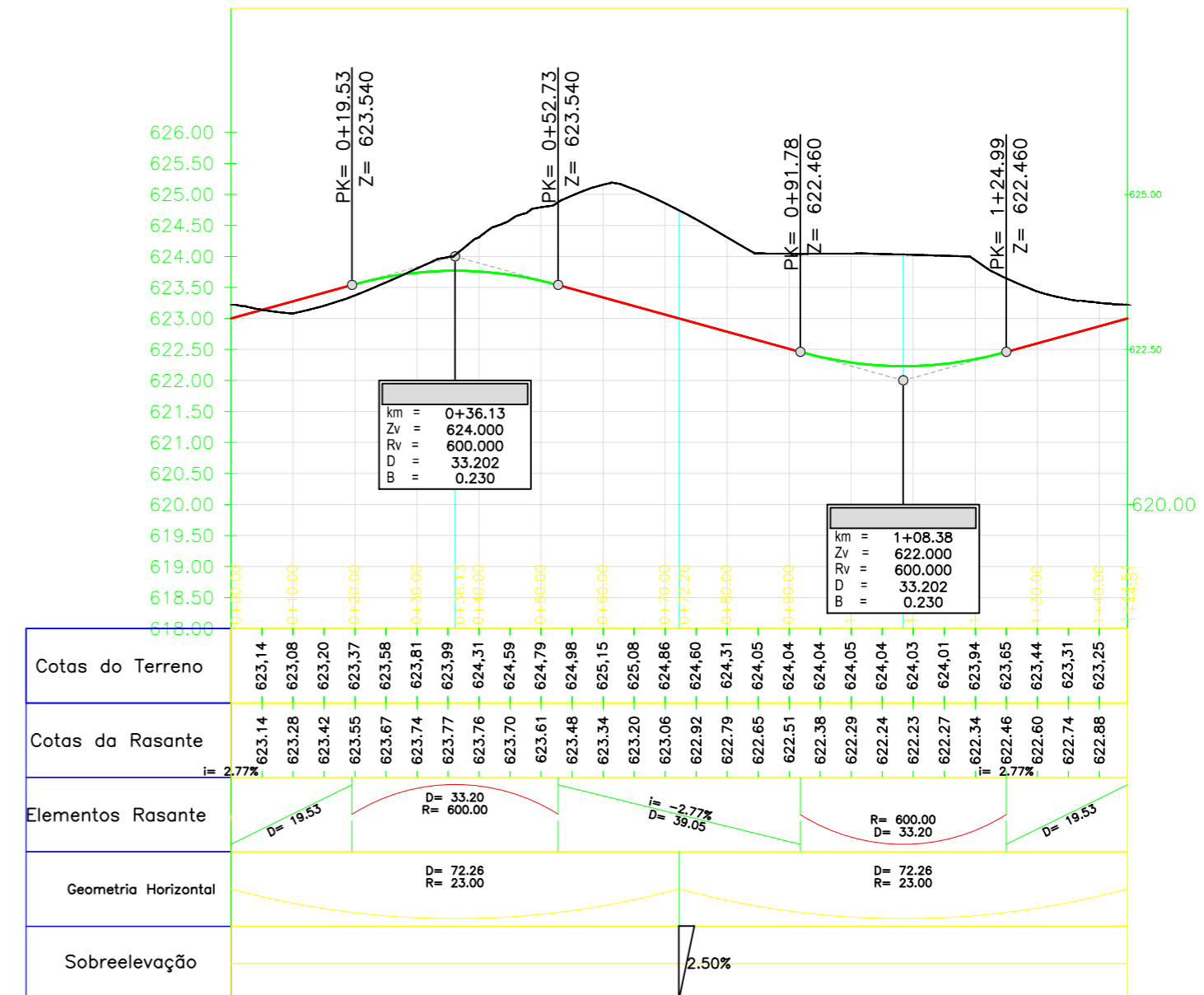
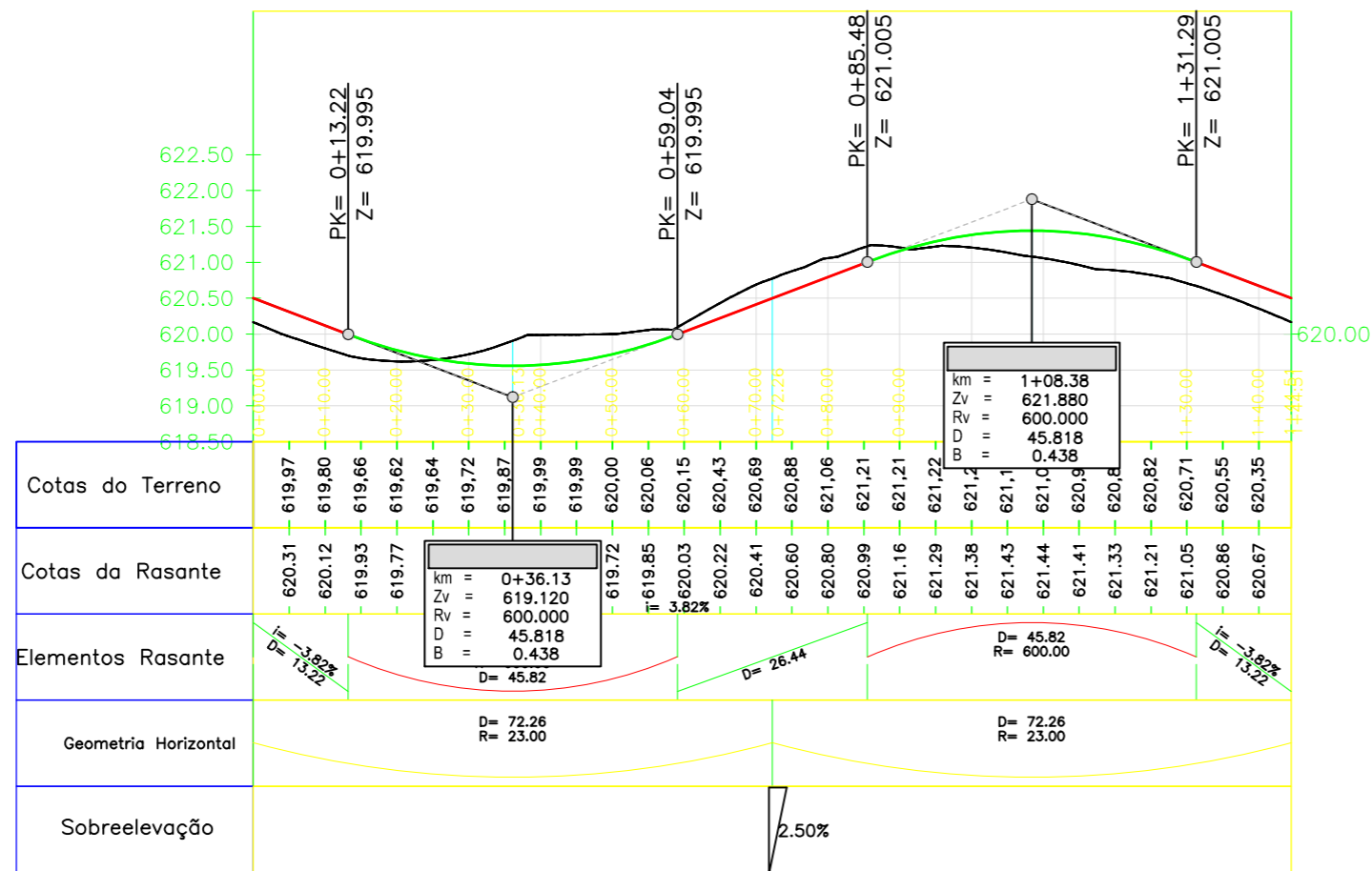
# Perfil Longitudinal RAMO SE



Escala: H - 1:1000 V - :100	Designação: Projecto de execução geométrico de um nó em diamante	Desenho: 5
Auto: André Amorim Orientador: Prof. Dr. Adalberto França	Designação complementar: Perfil Longitudinal - Ramo SE	Data: Jan/ 2012

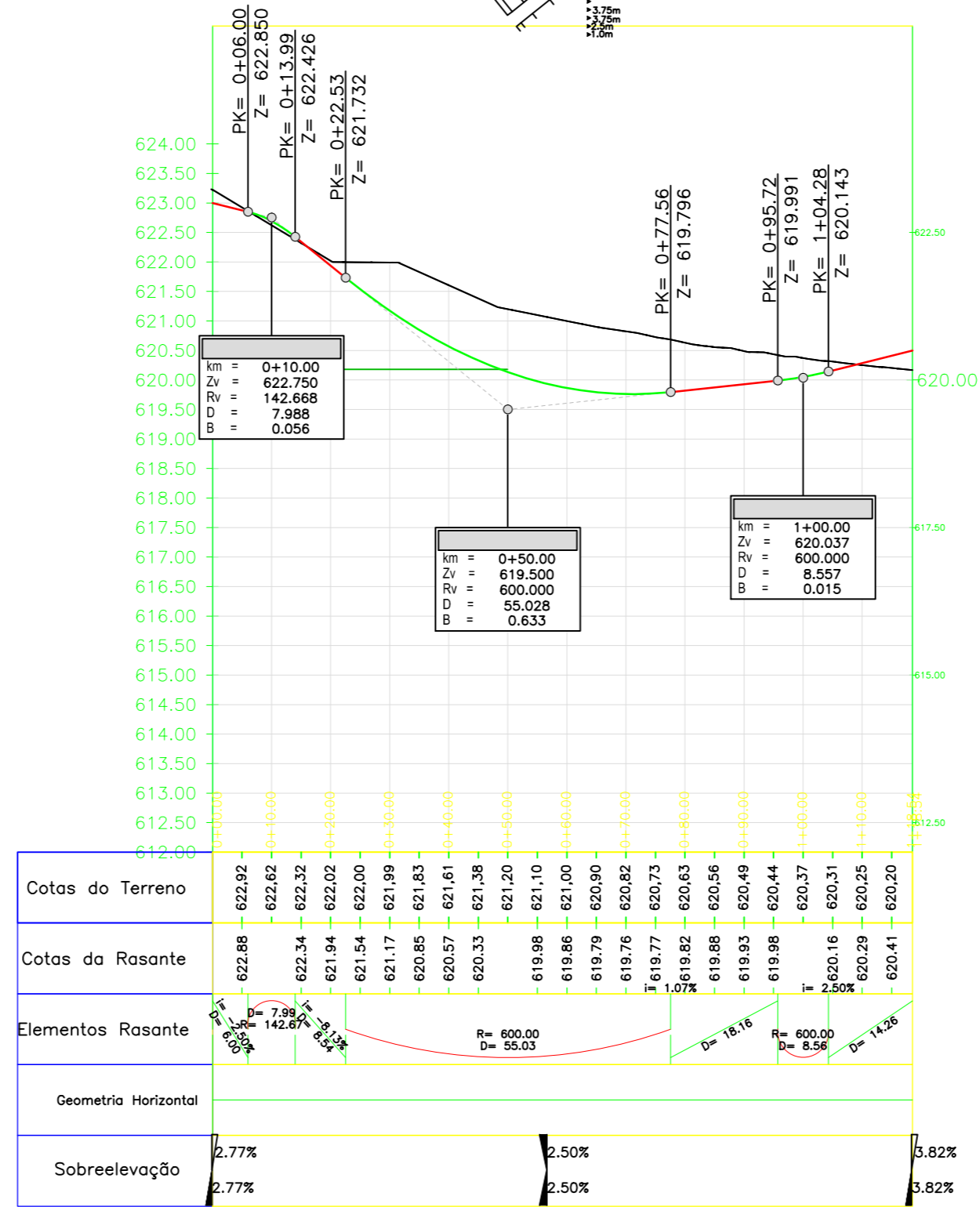
# Perfil Longitudinal Rotunda Sul

# Perfil Longitudinal Rotunda Norte

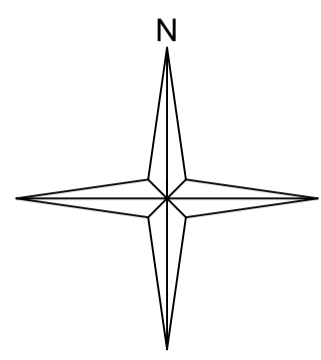


Escala: <b>H - 1:1000</b> <b>V - 1:100</b>	Designação: <b>Projecto de execução geométrico de um nó em diamante</b>	Desenho: <b>6</b>
Autor: André Amorim Orientador: Prof. Dr. Adalberto França	Designação complementar: <b>Perfil Longitudinal - Rotunda Norte e Rotunda Sul</b>	Data: Jan/ 2012

# Perfil Longitudinal Passagem Inferior



Escala: H - 1:1000 V - 1:100	Designação: Projecto de execução geométrico de um nó em diamante	Desenho: 7
Autor: André Amorim Orientador: Prof. Dr. Adalberto França	Designação complementar: Perfil Longitudinal - Passagem Inferior	Data: Jan/ 2012



**Restabelecimento Norte**

**Ramo NW**

**Rotunda Norte**

**Passagem Inferior**

**Ramo SW**

**Ramo NE**

**Rotunda Sul**

**Ramo SE**

**Restabelecimento Sul**

$A=236.643$   
 $R=\infty$

$A=236.643$   
 $R=700.000$

$R=700.000$   
 $A=236.643$

$A=236.643$   
 $R=\infty$

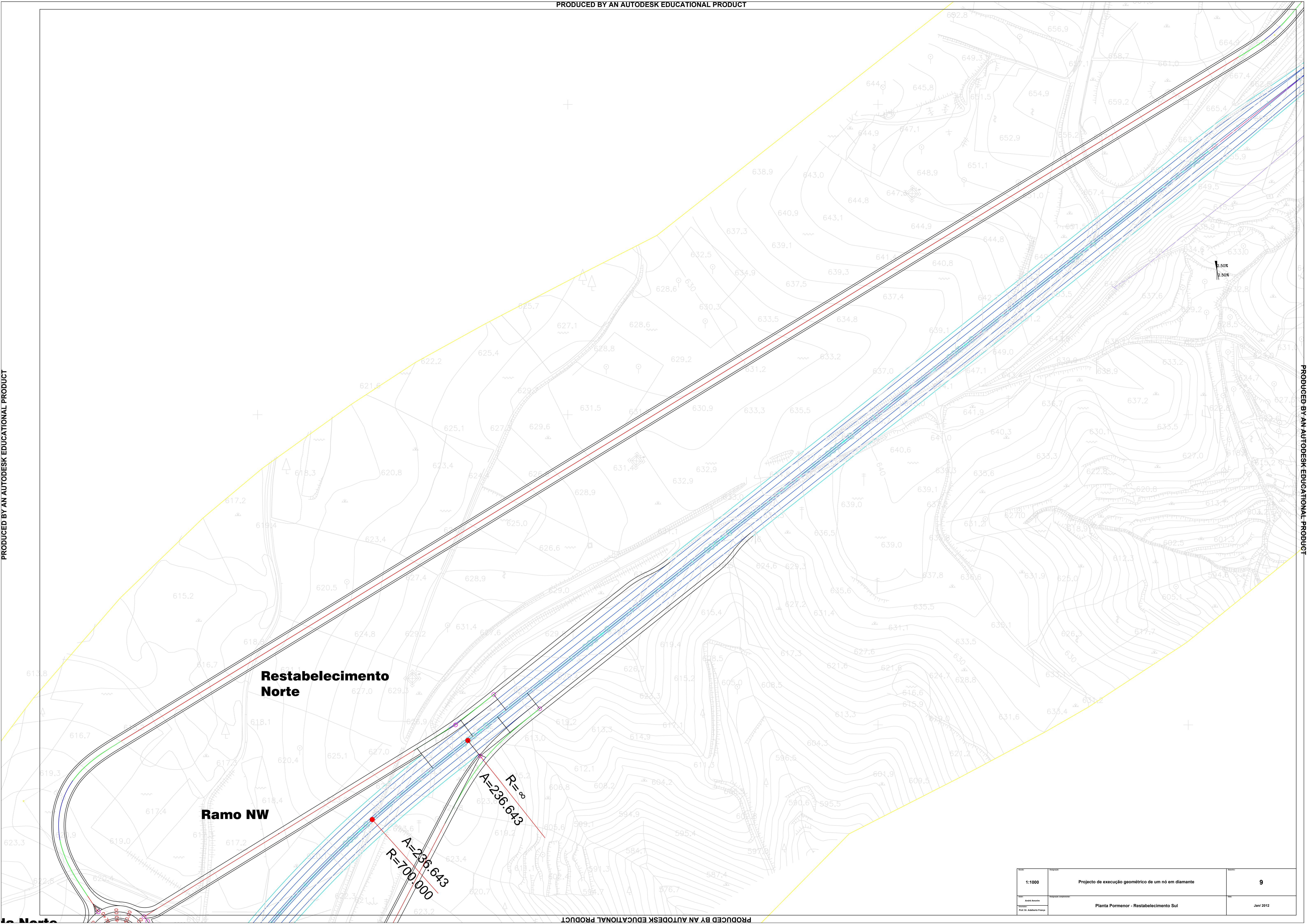
$R=25.0000$

$R=40.0000$

$R=15.0000$

$R=25.0000$

1:1000	Projecto de execucao geometrico de um no em diamante	8
Autores Prof. Dr. Adelberto Franco	Planta Geral	Jan/ 2012



**Restabelecimento Norte**

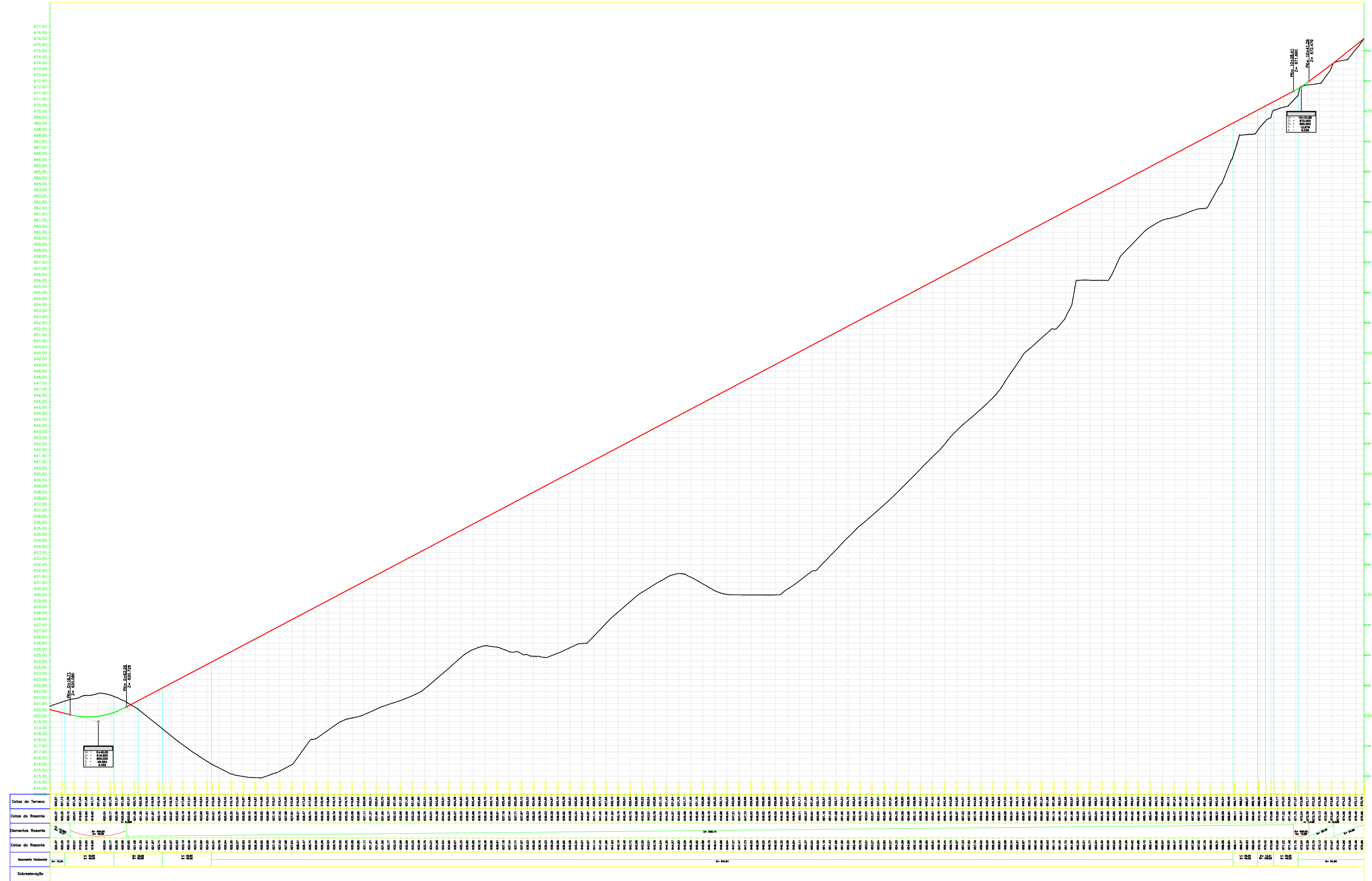
**Ramo NW**

$A=236.643$   
 $R=700.000$

$A=236.643$   
 $R=\infty$

1:1000	Projecto de execucao geometrico de um no em diamante	9
Autores Prof. Dr. Adalberto Franca	Planta Pormenor - Restabelecimento Sul	Jan/ 2012

### Perfil Longitudinal Restabelecimento Norte



H - 1:2000 V - 1:200	Projecto de execução geométrico de um nó em diamante	10
AutoCAD	Perfil Longitudinal - Restabelecimento Norte	Jan/2012

