

PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UMA INTERSECÇÃO DE NÍVEL EM ROTUNDA ELÍPTICA NAS ESPECIALIDADES DE GEOMETRIA DO TRAÇADO E PAVIMENTAÇÃO

ANDRÉ MASCARENHAS DE LEMOS ALVES DINIZ

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

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva
França

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

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.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, pela sua paciência, orientação, partilha do saber e atenção disponibilizada.

RESUMO

Este trabalho consiste no Projecto de Execução de uma intersecção de nível em rotunda elíptica, nas especialidades de Geometria do Traçado e Pavimentação. Por ser um trabalho de final de curso, engloba um relatório académico detalhado de todos os passos e justificações necessárias à realização do projecto. Apresentam-se ainda duas plantas de implantação e cinco perfis longitudinais no âmbito do estudo geométrico, bem como a Memória Descritiva do Processo de Pavimentação. Reúne grande parte dos conceitos adquiridos na opção de Vias de Comunicação, nomeadamente nas disciplinas de Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II e Complementos de Estradas e Aeródromos, para a especialidade de Geometria do Traçado, e Pavimentos I e Pavimentos II para a especialidade de Pavimentação. O projecto tem como base a Norma de Traçado, a Norma de Intersecções e a Norma de Nós de Ligação disponibilizadas pela antiga JAE, o Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários, do Instituto da Construção, que por sua vez se baseia na filosofia de dimensionamento da Shell, e o Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional. Utiliza como ferramentas a folha de cálculo Excel, o programa de desenho assistido por computador AUTOCAD e o programa de dimensionamento de pavimentos ALIZÉ.

PALAVRAS-CHAVE: Projecto de Execução, intersecção, rotunda elíptica, geometria do traçado, pavimentação

ABSTRACT

This work is based on the Detailed Design of an elliptical roundabout level interchange, in the specific areas of geometry road design and asphalt paving. As consequence of being a final work of degree, it includes a detailed academic report of all the steps and necessary justifications to the project realization. The geometric study presents two location plants and five longitudinal profiles are presented, as well as the Asphalt Paving Process Descriptive Memory Paper. It includes most of the acquired concepts obtained in the “Vias de Comunicação” option, not only in the disciplines of “Vias de Comunicação I”, “Vias de Comunicação II” and “Complementos de Estradas e Aeródromos”, to the geometry road design specific area, but also in the “Pavimentos I” and “Pavimentos II” disciplines, to the asphalt paving specific area. The project is based on “Norma de Traçado”, “Norma de Intersecções” and “Norma de Nós de Ligação” available by the old “JAE”, and “Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários”, from “Instituto da Construção”, wich is based on Shell design philosophy, and “Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional”. For the execution of this work, the tools were Excel worksheet, AUTOCAD computer assisted design program and the asphalt paving design program ALIZÉ.

KEYWORDS: Detailed Design, interchange, elliptical roundabout, geometry road design, asphalt paving

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. GEOMETRIA DO TRAÇADO – CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	3
3. GEOMETRIA DO TRAÇADO – CONDICIONANTES AO PROJECTO	5
4. GEOMETRIA DO TRAÇADO	9
4.1. TRAÇADO EM PLANTA	9
4.2. TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL	35
4.2.1. ROTUNDA	35
4.2.2. ARRUAMENTO 1	43
4.2.3. ARRUAMENTO 2	47
4.2.4. ARRUAMENTO 3	53
4.2.5. ARRUAMENTO 4	57
5. PAVIMENTAÇÃO – CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	63
6. PAVIMENTAÇÃO – CONDICIONANTES AO PROJECTO	65
7. PAVIMENTAÇÃO	67
7.1. TRÁFEGO	67
7.2. TEMPERATURA	72
7.3. CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS BETUMINOSAS	72
7.4. CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS GRANULARES	74

7.5. ESTRUTURA DO PERFIL TRANSVERSAL	75
7.6. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL.....	75

8. CONCLUSÃO	79
---------------------------	-----------

ANEXOS.....	81
--------------------	-----------

9.1. GEOMETRIA DO TRAÇADO	81
--	-----------

9.2. PAVIMENTAÇÃO.....	94
-------------------------------	-----------

9.3. PEÇAS DESENHADAS	95
------------------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Elipse e os dois focos.....	5
Fig.2 – Semi-eixos de uma elipse.	6
Fig.3 – Esquema de uma elipse.....	6
Fig.4 – Divisão da rotunda em 4 quadrantes.	7
Fig.5 – Planta de implantação e orientação da rotunda.	9
Fig.6 – Referencial xy de coordenadas relativas para a clotóide.	13
Fig.7 – Construção da curva em clotóide.....	15
Fig.8 – Construção da curva em clotóide.....	18
Fig.9 – Bordo exterior da rotunda com os pontos notáveis.	22
Fig.10 – Construção da clotóide do bordo interior, para o 1º quadrante da rotunda.....	23
Fig.11 – Planta da rotunda, bordos exterior e interior.....	24
Fig.12 – Pontos de intersecção da directriz dos arruamentos com a rotunda.....	25
Fig.13 – Construção da inserção do arruamento 1, em planta.....	28
Fig.14 – Construção da inserção do arruamento 2, em planta.....	29
Fig.15 – Construção da inserção do arruamento 3, em planta.....	30
Fig.16 – Construção da inserção do arruamento 4, em planta.....	31
Fig.17 – Bermas da rotunda, em planta.....	31
Fig.18 – Construção das bermas do arruamento 1, em planta.....	32
Fig.19 – Construção das bermas do arruamento 2, em planta.....	33
Fig.20 – Construção das bermas do arruamento 3, em planta.....	34
Fig.21 – Construção das bermas do arruamento 4, em planta.....	34
Fig.22 – Perfil longitudinal da rotunda, cotas do terreno.	35
Fig.23 – Perfil longitudinal da rotunda, com os trainéis da rasante.	36
Fig.24 – Perfil longitudinal da rotunda, com a rasante e concordâncias verticais.	37
Fig.25 – Sobreelevação ao longo da rotunda.	43
Fig.26 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 1.....	45
Fig.27 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 2.....	51
Fig.28 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 3.....	55
Fig.29 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 4.....	60
Fig.30 – Estrutura do perfil transversal.	75

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Pontos notáveis para definição dos eixos.....	10
Quadro 2 – Coordenadas do ponto C_2	11
Quadro 3 – Definição da distância D	14
Quadro 4 – Coordenadas do ponto C_1	16
Quadro 5 – Coordenadas do ponto T_2	17
Quadro 6 – Coordenadas do ponto O	17
Quadro 7 – Coordenadas dos pontos A_2 e A_1	19
Quadro 8 – Curva circular de centro C_2	20
Quadro 9 – Curva circular de centro C_1	21
Quadro 10 – Coordenadas do ponto B' e desenvolvimento entre A e B'	21
Quadro 11 – Pontos notáveis para o traçado em planta.	22
Quadro 12 – Raios de curva de inserção dos arruamentos na rotunda.	25
Quadro 13 – Coordenadas dos pontos de inserção dos arruamentos na rotunda.....	26
Quadro 14 – Pontos de inserção do arruamento na rotunda, tratamento no primeiro quadrante.	26
Quadro 15 – Distância do ponto de inserção ao Km 0+000 da rotunda.....	27
Quadro 16 – Cotas do terreno dos pontos de inserção dos arruamentos, e desenvolvimento na rotunda.	35
Quadro 17 – Características das concordâncias verticais.....	37
Quadro 18 – Cotas da rasante e do terreno dos pontos notáveis. Inclinação longitudinal dos trainéis.....	38
Quadro 19 – Cotas da rasante e desenvolvimento da rotunda para cada concordância.....	40
Quadro 20 – Cotas dos vértices da rasante da rotunda.	41
Quadro 21 – Cotas da rasante da rotunda.....	41
Quadro 22 – Cotas da rasante da rotunda.....	42
Quadro 23 – Cotas do terreno para o arruamento 1.....	43
Quadro 24 – Definição da rasante, arruamento 1.....	44
Quadro 25 – Definição da rasante, arruamento 1.....	45
Quadro 26 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 1.....	46
Quadro 27 – Sobrelevação ao longo da rasante do arruamento 1.....	46
Quadro 28 – Cotas do terreno para o arruamento 2.....	48
Quadro 29 – Definição da rasante, arruamento 2.....	48
Quadro 30 – Definição da rasante, arruamento 2.....	50
Quadro 31 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 2.	51

Quadro 32 – Sobreelevação ao longo da rasante do arruamento 2.	52
Quadro 33 – Cotas do terreno para o arruamento 3.	53
Quadro 34 – Definição da rasante, arruamento 3.	53
Quadro 35 – Definição da rasante, arruamento 3.	54
Quadro 36 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 3.	55
Quadro 37 – Sobreelevação ao longo da rasante do arruamento 3.	56
Quadro 38 – Cotas do terreno para o arruamento 4.	57
Quadro 39 – Definição da rasante, arruamento 4.	58
Quadro 40 – Definição da rasante, arruamento 4.	59
Quadro 41 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 4.	61
Quadro 42 – Sobreelevação ao longo da rasante do arruamento 4.	61
Quadro 43 – Descrição de eixos por categoria de tráfego e tipo de carga.	67
Quadro 44 – Distribuição de tráfego por categoria e tipo de carga.	68
Quadro 45 – Número de veículos por categoria de tráfego e tipo de carga.	68
Quadro 46 – Número de eixos simples para cada categoria de tráfego e peso do eixo.	69
Quadro 47 – Número de eixos tandem para cada categoria de tráfego e peso do eixo.	69
Quadro 48 – Número de eixos tridem para cada categoria e peso do eixo.	69
Quadro 49 – Conversão de eixos simples em eixos-padrão.	70
Quadro 50 – Conversão de eixos tandem em eixos-padrão.	71
Quadro 51 – Conversão de eixos tridem em eixos-padrão.	71
Quadro 52 – Temperaturas de cálculo das misturas betuminosas.	72
Quadro 53 – Módulos de rigidez das misturas betuminosas.	73
Quadro A1 – Piquetagem da curva em clotóide.	81
Quadro A2 – Piquetagem da curva circular de raio r_2	83
Quadro A3 – Piquetagem da curva circular de raio r_1	84
Quadro A4 – Piquetagem para o primeiro quadrante.	85
Quadro A5 – Coordenadas dos pontos da clotóide no bordo interior, 1º quadrante da rotunda.	88
Quadro A6 – Cotas do terreno sob o bordo exterior, retiradas da cartografia.	89
Quadro A7 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal da rotunda.	90
Quadro A8 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 1.	90

Quadro A9 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 1.....	91
Quadro A10 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 2.....	91
Quadro A11 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 2.....	91
Quadro A12 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 3.....	92
Quadro A13 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 3.....	92
Quadro A14 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 4.....	92
Quadro A15 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 4.....	93
Quadro A16 – Quadro de resultados do programa de cálculo ALIZÉ.....	94

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a - metade do comprimento do eixo maior da elipse [m]

b - metade do comprimento do eixo menor da elipse [m]

A – parâmetro da clotóide [m]

J – sobreaceleração radial teórica [m/s³]

Se – sobreelevação [%]

TMDP – tráfego diário médio anual de pesados [veículos]

ν – coeficiente de Poisson

E_{mistura} – módulo de rigidez da mistura betuminosa [MPa]

E_{granular} – módulo de deformabilidade do solo granular [MPa]

E_s - módulo de deformabilidade do solo de fundação [MPa]

ϵ_t - extensão de tracção que leva à rotura por fadiga à tracção

ϵ_{dp} - extensão de compressão que leva à rotura por deformação permanente

CBR – califórnia bearing ratio [%]

CAD – desenho assistido por computador

CC – curva circular

CT – curva de transição

s – eixo simples

t – eixo tandem

tr – eixo tridem

BB – betume betuminoso

MB – macadame betuminoso

AC – asphalt concrete

AGE – agregado de granulometria extensa

BG – base granular

INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste no Projecto de Execução de uma intersecção de nível em rotunda elíptica, nas especialidades de traçado e pavimentação.

A intersecção localiza-se no distrito do Porto, concelho do Marco de Canaveses. Pretende-se alterar a intersecção dos quatro arruamentos para uma rotunda, reduzindo o número de pontos de conflito devido ao cruzamento dos veículos. Estes têm originado cada vez mais acidentes rodoviários com aumento do tráfego naquelas artérias. Ainda assim, procura-se fazer um mínimo de alterações às directrizes e rasantes existentes.

O facto de ser uma área de declive acentuado e a proximidade entre dois dos arruamentos adjacentes coloca algumas restrições ao traçado desta intersecção giratória de nível.

2

GEOMETRIA DO TRAÇADO - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

A gravidade dos acidentes nas intersecções giratórias é menor que nas intersecções com canalização de tráfego, pois eliminam-se movimentos como viragens à esquerda e atravessamentos, que são os que originam acidentes mais graves.

São, no entanto, inconvenientes operacionais dos cruzamentos giratórios, o facto de ser necessário subordinar as correntes de tráfego prioritárias ao tráfego total, obrigar a grande maioria dos veículos a manobras de entrecruzamento, e ser necessária uma grande área para a sua implantação.

As intersecções giratórias são uma solução particularmente adaptada às zonas de transição entre a zona rural e o meio urbano, quando a estrada não tem continuidade. Esta solução adequa-se à presente situação, visto estarem cumpridas as condições aconselhadas pelas normas, nomeadamente: volumes de tráfego idênticos nos vários ramos, volumes relativos às viragens à esquerda iguais ou superiores aos volumes que se cruzam, e número de ramos igual ou superior a quatro.

A boa percepção visual da intersecção é essencial para evitar acidentes devido à perda de controlo dos veículos, bem como incitar os condutores a uma apreciável redução da velocidade. São indispensáveis uma sinalização vertical correcta e uma concepção facilmente compreensível da ilha central, de modo a que esta seja visível dos vários ramos, a uma distância igual ou maior que a distância de paragem. O arranjo paisagístico dos terrenos marginais deve merecer cuidados especiais, a fim de quebrar a continuidade do traçado na zona da intersecção.

O raio da ilha central deverá estar compreendido entre 15 e 30 metros, não devendo nunca ultrapassar os 50 metros. A velocidade do tráfego deverá ser inferior a 40 km/h. A faixa de rodagem que circunda a ilha central deverá ter, no mínimo, 8,0 metros de largura, assegurando duas vias de tráfego, tendo os ramos de acesso uma via. Recomenda-se uma sobrelevação de $\pm 2,5\%$, independentemente do raio da ilha central. Deve-se delimitar a faixa de rodagem com lancis galgáveis, melhorando a percepção da intersecção.

As entradas numa intersecção giratória devem ter apenas uma via, com 4,0 metros de largura. A existência de ilhas separadoras nas entradas obriga a uma deflexão da trajectória e a uma redução da velocidade, permitindo um ângulo de incidência correcto. O desvio da trajectória deverá ser de, pelo menos, 12 graus, devendo o ângulo de incidência estar compreendido entre 45 e 65 graus, garantindo a visibilidade dos veículos que circulam na faixa de rodagem da rotunda. Devem-se evitar ângulos de incidência superiores a 65 graus, assim como tangenciais, sendo estes incompatíveis, respectivamente, com a segurança e a prioridade dos veículos que circulam na faixa central. O raio das

vias de entrada deve ser de 20 metros. As saídas deverão ter uma via, com largura recomendada de 5,0 metros. O raio de saída deverá ser de 40 metros, a fim de facilitar a saída e o descongestionamento da faixa central. Tal como a ilha central, as ilhas separadoras deverão ter igualmente lances galgáveis.

O arranjo paisagístico da intersecção assegura a percepção longínqua da intersecção e facilita a orientação dos ramos de entrada/saída. Os meios normalmente utilizados são a modelação do terreno natural e o recurso a artes plásticas. Não devem, no entanto, ser colocados quaisquer obstáculos visuais, incluindo arbustos, a menos de 2,0 metros do limite interior da faixa de rodagem que contorna a ilha central. Devem merecer especial cuidado as zonas da ilha central no enfiamento dos acessos, devido à elevada gravidade dos acidentes por perda de controlo do veículo ao entrar numa intersecção giratória. Nessas zonas deveram existir unicamente maciços arbustivos, os quais em caso de despiste diminuirão apreciavelmente a sua gravidade. As intersecções giratórias deveram ser sempre iluminadas, bem como os seus ramais, numa extensão igual à distância de paragem.

3

**GEOMETRIA DO TRAÇADO -
CONDICIONANTES AO PROJECTO**

Este trabalho explora as especialidades da geometria do traçado e pavimentação, e como tal não engloba os estudos que as precedem, onde foram anteriormente definidas certas condicionantes.

A partir de estudos de tráfego, foi definido que o tipo de rotunda mais vantajoso seria uma rotunda elíptica, de eixos mínimo e máximo de 44m e 60m, respectivamente. Estes eixos correspondem ao bordo exterior da rotunda. A faixa de rodagem deverá ter duas vias com 4 metros cada. Ficou ainda definido que a berma interior terá 0,5m e a exterior 2,5m.

Por uma questão de comodidade para os condutores que circulam na rotunda, a geometria inicial da elipse foi alterada de forma a dar origem a uma forma aproximada à elipse, combinando curvas circulares de raios maior e menor, concordadas por curvas de transição em clotóide, permitindo uma variação gradual da aceleração radial.

Define-se elipse como um conjunto de pontos do plano tais que a soma das distâncias de qualquer um desses pontos a dois pontos fixos, que são os focos, é constante. A figura 1 suporta esta definição.

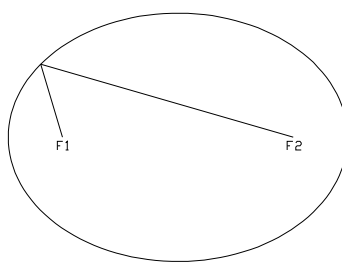


Fig.1 – Elipse e os dois focos.

A distância entre os dois focos é a distância focal, e o seu ponto médio é o centro da elipse. O eixo maior é o eixo que inclui o centro e os dois focos, sendo o eixo menor perpendicular, passando igualmente pelo centro.

Define-se aqui como a metade do comprimento do eixo maior, e como b metade do comprimento do eixo menor. Representa-se a elipse na figura 2, sendo a equação 1 [1] a sua equação geral.

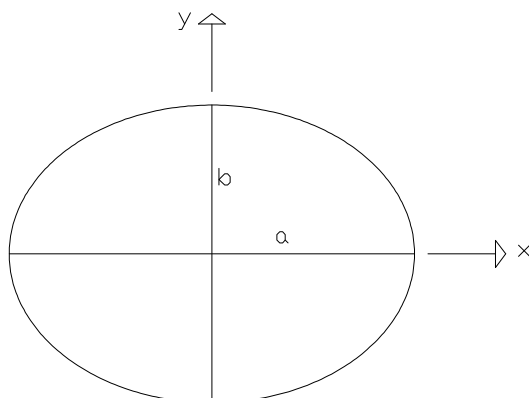


Fig.2 – Semi-eixos de uma elipse.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

Observando a planta do terreno que se encontra no anexo, verifica-se que a área de implantação da rotunda em forma de elipse é mais limitativa na direcção Norte – Sul, sugerindo a orientação da elipse com o menor eixo nesta direcção.

Atendendo à distância disponível, condicionante na direcção de b , limitada pelas construções existentes, definiu-se nesta direcção o eixo menor da elipse, com $2b = 44\text{m}$, logo $b = 22\text{m}$. O eixo maior fica orientado na direcção perpendicular, com $2a = 60\text{m}$, logo $a = 30\text{m}$. Na figura 3 apresenta-se a primeira aproximação para as dimensões da elipse.

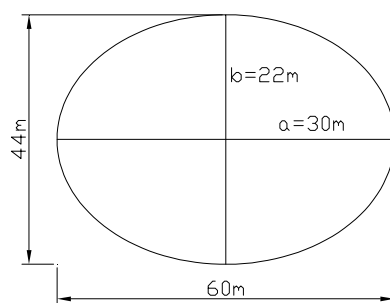


Fig.3 – Esquema de uma elipse.

Estes valores correspondem a uma primeira aproximação para os 4 pontos igualmente espaçados no bordo exterior da rotunda elíptica, correspondentes à sua intersecção com os eixos. Devido à área disponível para a implantação da rotunda ser mais condicionante na direcção do eixo menor, a tendo ainda em atenção que é necessário contar com a berma exterior, tomou-se este valor como fixo e as aproximações à forma do bordo exterior da rotunda que se sucederam respeitaram apenas ao eixo maior da elipse.

Visto os eixos da rotunda serem eixos de simetria, por uma questão de simplicidade e economia de cálculos, dividiu-se a rotunda em quatro quadrantes. Todo o processo que se segue de determinação de

coordenadas foi feito para o 1º quadrante, rebatendo-se no final para os outros três quadrantes. Apresenta-se essa divisão na figura 4.

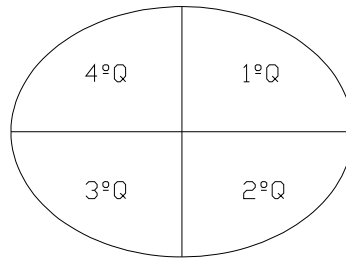


Fig.4 – Divisão da rotunda em 4 quadrantes.

Por questões procedimentais, o sentido dos km crescentes na rotunda foi definido ao contrário do habitual, tendo sido arbitrado o sentido horário.

A velocidade base para circulação na rotunda é de 30 km/h.

4

GEOMETRIA DO TRAÇADO

4.1. TRAÇADO EM PLANTA

Na figura 5 observa-se a planta de implantação e orientação da rotunda, representando a elipse o seu bordo exterior. Definiram-se o centro C_0 , e o ponto A a partir da distância a . O ponto B, a partir da distância b , foi calculado analiticamente.

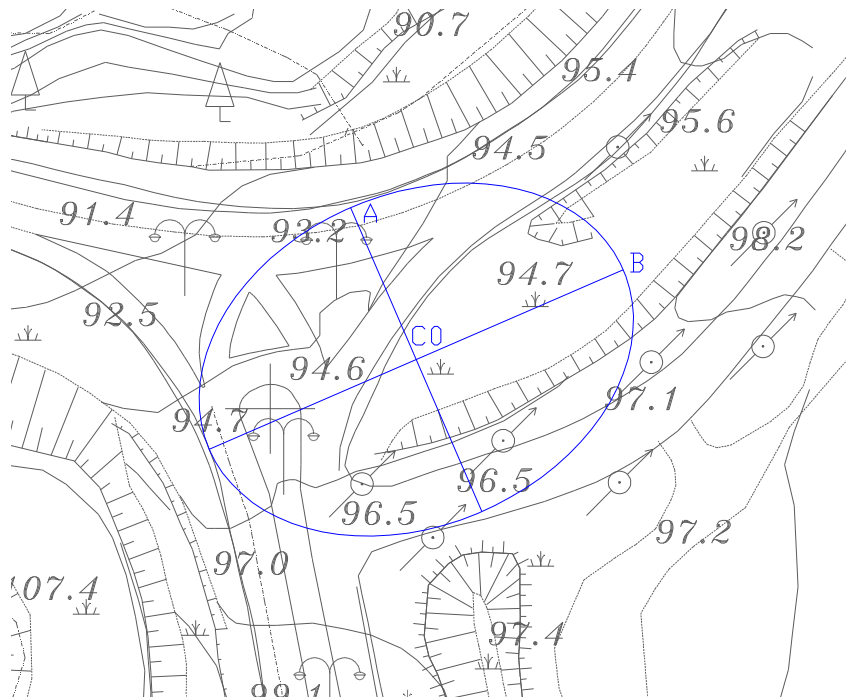


Fig.5 – Planta de implantação e orientação da rotunda.

A partir da planta em CAD, retiraram-se as coordenadas de dois dos pontos notáveis para a definição dos eixos, os pontos C_0 e A.

O terceiro ponto, o ponto B, calculou-se a partir dos dois primeiros. Com as coordenadas de C_0 e A, calculou-se o azimuth (C_0A).

$$Az(C_0A) = \arctan\left(\frac{M_A - M_{C_0}}{P_A - P_{C_0}}\right)$$

$$Az(C_0A) = 373,9625610gr$$

A partir do ponto C_0 e do azimuth (C_0A) , calcularam-se as coordenadas de B. No quadro 1 apresentam-se as coordenadas dos três pontos notáveis.

$$\begin{cases} M_B = M_{C_0} + a \cdot \sin(Az(C_0A) + 100) \\ P_B = P_{C_0} + a \cdot \cos(Az(C_0A) + 100) \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_B = -1.780,5594 + 30 \cdot \sin(373,9625610 + 100) \\ P_B = 169.406,5158 + 30 \cdot \cos(373,9625610 + 100) \end{cases}$$

Quadro 1 – Pontos notáveis para definição dos eixos.

	M	P
C_0	-1.780,5594	169.406,5158
A	-1.789,3085	169.426,7012
B	-1.753,0338	169.418,4464

Os pontos A e B são pontos bissectriz das curvas circulares de raio máximo e mínimo, respectivamente. Determinando esses dois raios, podem determinar-se o centro de cada curva. A equação geral de cálculo do raio de curvatura para uma curva plana é a equação 2 [1].

$$r = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{y''} \quad (2)$$

Derivando a equação geral da elipse (equação 1) em ordem a y , obtém-se y' .

$$y' = -\frac{b}{a} \cdot x \cdot (a^2 - x^2)^{-1/2}$$

Derivando novamente obtém-se y'' .

$$y'' = -\frac{b}{a} \cdot (a^2 - x^2)^{-1/2} - \frac{b}{a} \cdot x^2 \cdot (a^2 - x^2)^{-3/2}$$

Substituindo na equação 2, fica-se com a equação do raio em ordem a x ,

$$r = \frac{\left(1 + \left(-\frac{b}{a} \cdot x \cdot (a^2 - x^2)^{-1/2}\right)^2\right)^{3/2}}{-\frac{b}{a} \cdot (a^2 - x^2)^{-1/2} - \frac{b}{a} \cdot x^2 \cdot (a^2 - x^2)^{-3/2}}$$

O raio maior encontra-se sobre o eixo dos yy. Usando coordenadas relativas, fez-se $x=0$, chegando-se a

$$r_{\max} = \frac{a^2}{b} \quad (3)$$

Orientando a elipse com o eixo maior como eixo dos yy, é necessário trocar também as grandezas b por a , e vice-versa. Assim, chega-se a

$$r_{\min} = \frac{b^2}{a} \quad (4)$$

Obtiveram-se assim os raios máximo (r_2) e mínimo (r_1).

$$r_2 = 40,909m$$

$$r_1 = 16,133m$$

A partir do valor do r_2 determinou-se o centro C_2 , centro para a curva circular de raio máximo na rotunda. Este ponto situa-se sobre o eixo menor, à distância de r_2 do ponto A, e determina-se a partir das coordenadas do ponto A e do rumo (AC_2), à distância r_2 . O rumo (AC_2) obtém-se facilmente somando 200 grados ao rumo (C_0A) já conhecido.

$$\begin{cases} M_{C_2} = M_A + r_2 \cdot \sin(Az(C_2A) + 200) \\ P_{C_2} = P_A + r_2 \cdot \cos(Az(C_2A) + 200) \end{cases}$$

Quadro 2 – Coordenadas do ponto C_2 .

	M	P
C_2	-1.773,0395	169.389,1663

O ponto C_1 , centro da curva circular de raio mínimo, ficará sobre o eixo maior, à distância D (adiante explicitada) do ponto C_2 . Apresenta-se de seguida a construção geométrica que permite a sua determinação.

No ponto A a rotunda tem raio r_2 , em curva circular. No ponto B' (a nova posição do ponto B), tem raio r_1 , em curva circular. Existem dois pontos intermédios, A_2 e A_1 , pontos de osculação entre a curva circular de raio r_2 e a clotóide, e entre a clotóide e a curva circular de raio r_1 , respectivamente.

A curva inicia-se no alinhamento recto osculador fictício, no ponto O. Passa pelo ponto A₂, onde coincide com o final da curva circular de raio r₂. Termina no ponto A₁, onde coincide com o início da curva circular de raio r₁. Subtraindo a clotóide entre O e A₂ à clotóide entre O e A₁, fica-se apenas com a parte da curva desejada entre A₂ e A₁.

A equação 5 [1] relaciona o parâmetro da clotóide A (m) com a sobreaceleração radial teórica J (m/s³) e a velocidade do veículo v (m/s).

$$J = \frac{v^3}{A^2} \quad (5)$$

A sobreaceleração deve ser limitada a 0,5 m/s³ por questões de segurança e comodidade. Substituindo em (5) e resolvendo em ordem ao parâmetro A,

$$A \geq \sqrt{v^3 \cdot 0,5}$$

Considerando V em km/h, tem-se

$$A \geq \sqrt{(V/3,6)^3 \cdot 0,5}$$

Sendo a rotunda dimensionada para uma velocidade base de 30 km/h, substituindo na expressão, tem-se

$$\begin{aligned} A &\geq \sqrt{(30/3,6)^3 \cdot 0,5} \\ A &\geq 17,01m \end{aligned}$$

Definiu-se o parâmetro da clotóide A=22m, dando uma margem de segurança em relação ao valor mínimo.

A curva de transição em clotóide tem como equação geral a equação 6. Determinou-se o desenvolvimento L para cada um dos raios r₂ e r₁, correspondentes aos pontos A₂ e A₁, respectivamente.

$$L = \frac{A^2}{R} \quad (6)$$

A partir de cada raio e respectivo desenvolvimento determinou-se o ângulo de contingência, em radianos, através da equação 7.

$$\tau = \frac{L}{2 \cdot R} \quad (7)$$

Tomando como o ponto O a origem de um referencial de coordenadas relativas para o desenvolvimento da clotóide, determinaram-se as coordenadas x e y para os pontos A₂ e A₁, nesse

referencial. Na figura 6 observa-se o referencial adoptado. As equações 8 e 9 [1] para a determinação de coordenadas x e y da clotóide são polinómios com um número infinito de termos. No entanto, observou-se que a partir de cinco termos o número de casas decimais já atinge a precisão do milímetro. A constante A é o parâmetro da clotóide, e l o desenvolvimento, em metros, nos pontos A_2 e A_1 .

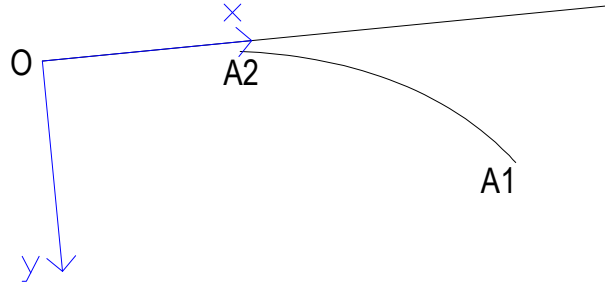


Fig.6 – Referencial xy de coordenadas relativas para a clotóide.

$$x = l - \frac{l^5}{5 \cdot 2! \cdot 2^2 \cdot A^4} + \frac{l^9}{9 \cdot 4! \cdot 2^4 \cdot A^8} - \frac{l^{13}}{13 \cdot 6! \cdot 2^6 \cdot A^{12}} + \frac{l^{17}}{17 \cdot 8! \cdot 2^8 \cdot A^{16}} \quad (8)$$

$$y = \frac{l^3}{3 \cdot 2 \cdot A^2} - \frac{l^7}{7 \cdot 3! \cdot 2^3 \cdot A^6} + \frac{l^{11}}{11 \cdot 5! \cdot 2^5 \cdot A^{10}} - \frac{l^{15}}{15 \cdot 9! \cdot 2^7 \cdot A^{14}} + \frac{l^{19}}{19 \cdot 7! \cdot 2^9 \cdot A^{18}} \quad (9)$$

Com a abcissa x_2 , o raio r_2 e o ângulo τ_2 , e com o auxílio da equação 7, correspondentes ao ponto A_2 , determinou-se a grandeza Xm_2 , correspondente à distância OT_2 na figura 7. Com x_1 , r_1 e τ_1 , determinou-se a grandeza Xm_1 , correspondente à distância OT_1 na figura 7. A equação 10 permite o cálculo de Xm .

$$Xm = x - R \cdot \sin(\tau) \quad (10)$$

A partir da equação 11 determinam-se as grandezas ΔR_2 e ΔR_1 . No cálculo de ΔR_2 entram a ordenada y_2 , o ângulo τ_2 e o raio r_2 , correspondentes ao ponto A_2 . No cálculo de ΔR_1 entram a ordenada y_1 , o ângulo τ_1 e o raio r_1 , correspondentes ao ponto A_1 .

$$\Delta R = y - (1 - \cos(\tau)) \cdot R \quad (11)$$

As grandezas Xm_2 e Xm_1 permitem a determinação de ΔX (equação 12). A grandeza ΔY determina-se a partir de r_2 , ΔR_2 , r_1 e ΔR_1 (equação 13).

$$\Delta X = Xm_1 - Xm_2 \quad (12)$$

$$\Delta Y = (R + \Delta R)_2 - (R + \Delta R)_1 \quad (13)$$

Finalmente obtém-se a distância pretendida D entre os centros C_2 e C_1 (equação 14).

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (14)$$

No quadro 3 apresentam-se estes resultados.

Quadro 3 – Definição da distância D.

Ponto	A ₁	A ₂
Parâmetro A (m)	22	
Raio (m)	16,133	40,909
L (m)	30,000	11,831
δ (rad)	0,9297521	0,1446025
x (m)	27,508	11,806
y (m)	8,739	0,569
δ (grados)	59,1898549	9,2056791
Xm (m)	14,578	5,911
ΔR (m)	2,254	0,142
R+ΔR (m)	18,387	41,052
ΔX (m)	8,667	
ΔY (m)	22,664	
D (m)	24,265	

A partir destes valores, faz-se a construção geométrica da figura 7. As grandezas X_{m2} e X_{m1} correspondem às distâncias OT_2 e OT_1 , respectivamente. As grandezas $(R+\Delta R)_2$ e $(R+\Delta R)_1$ correspondem às distâncias C_2T_2 e C_1T_1 , respectivamente. O valor ΔX corresponde à distância entre C_1 e a recta C_2T_2 . O valor ΔY corresponde à distância, sobre a recta C_2T_2 , entre C_2 e a recta perpendicular que passa em C_1 .

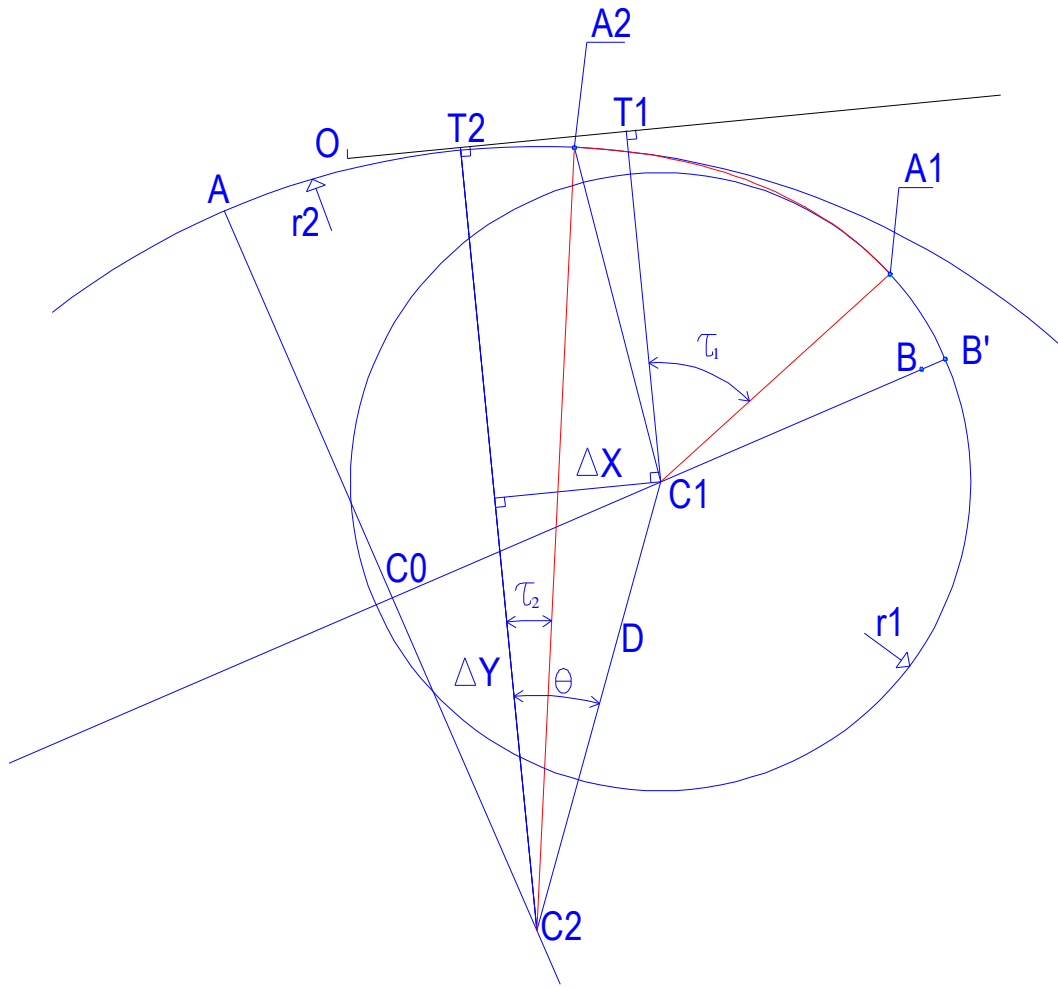


Fig.7 – Construção da curva em clotóide.

A equação geral de uma recta é a equação 15.

$$y = m \cdot x + b \quad (15)$$

A partir dos pontos C_0 e B determinou-se o declive da recta que passa pelos dois pontos:

$$m = \frac{P_B - P_{C_0}}{M_B - M_{C_0}}$$

$$m = 0,4334370$$

Com os dois pontos e o declive da recta, determinou-se a ordenada na origem:

$$b = P_{C_0} - m \cdot M_{C_0}$$

$$b = 170.178,27619348$$

Apresenta-se de seguida a equação da recta:

$$y = 0,4334370 \cdot x + 170.178,276$$

O ponto C_1 encontra-se na intersecção da recta que passa em C_0 e B com a circunferência de centro C_2 e raio D.

$$\begin{cases} (x_{C1} - x_{C2})^2 + (y_{C1} - y_{C2})^2 = D^2 \\ y_{C1} = m \cdot x_{C1} + b \end{cases}$$

Logo, determinou-se C_1 (quadro 4).

$$\begin{cases} (x_{C1} - (-1.773,0395))^2 + (y_{C1} - 169.389,1663)^2 = 24,265^2 \\ y_{C1} = 0,4334370 \cdot x_{C1} + 170.178,276 \end{cases}$$

Quadro 4 – Coordenadas do ponto C_1 .

	M	P
C_1	-1.766,6075	169.412,5630

O ponto T_2 é o ponto de intersecção da osculadora da clotóide com a recta perpendicular que passa em C_2 . A partir das grandezas ΔY e ΔX (quadro 3), determina-se o ângulo θ correspondente a T_2C_2D (equação 16).

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right) \quad (16)$$

$$\theta = 23,2514484 \text{ gr}$$

As coordenadas de C_2 e C_1 (quadros 2 e 4) permitem calcular o azimuth da recta que une os dois pontos.

$$Az(C_2C_1) = \arctan\left(\frac{M_{C1} - M_{C2}}{P_{C1} - P_{C2}}\right)$$

$$Az(C_2C_1) = 17,0793071 \text{ gr}$$

O azimuth $Az(C_2T_2)$ é igual à soma do azimuth $Az(C_2C_1)$ com o ângulo θ .

$$Az(C_2T_2) = Az(C_2C_1) + \theta$$

$$Az(C_2T_2) = 393,8278587 \text{ gr}$$

A partir das coordenadas de C_2 (quadro 2), da grandeza $(R+\Delta R)_2$ (quadro 3) e do azimute $Az(C_2T_2)$, obtém-se T_2 (equação 17). As coordenadas encontram-se no quadro 5.

$$\begin{cases} M_{T_2} = M_{C_2} + (R + \Delta R)_2 \cdot \sin(Az(C_2T_2)) \\ P_{T_2} = P_{C_2} + (R + \Delta R)_2 \cdot \cos(Az(C_2T_2)) \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} M_{T_2} = -1.773,0395 + 41,052 \cdot \sin(393,8278587) \\ P_{T_2} = 169.389,1663 + 41,052 \cdot \cos(393,8278587) \end{cases}$$

Quadro 5 – Coordenadas do ponto T_2 .

	M	P
T_2	-1.777,0133	169.430,0250

Com as coordenadas do ponto T_2 e o rumo (C_2T_2) , achou-se o rumo (T_2O) subtraindo 100 graus, visto as rectas serem perpendiculares. Sabendo que o ponto O se encontra na recta osculadora da clotóide à distância de Xm_2 do ponto T_2 (quadro 3), determinaram-se as coordenadas de O (quadro 6).

$$\begin{cases} M_O = M_T + Xm_2 \cdot \sin(Az(C_2T) - 100) \\ P_O = P_T + Xm_2 \cdot \cos(Az(C_2T) - 100) \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_O = -1.777,0133 + 5,911 \cdot \sin(393,8278587 - 100) \\ P_O = 169.430,0250 + 5,911 \cdot \cos(393,8278587 - 100) \end{cases}$$

Quadro 6 – Coordenadas do ponto O .

	M	P
O	-1.782,8969	169.429,4528

Sendo o ponto O o início da clotóide para o ponto de raio infinito, determinou-se o rumo (OT_2) , necessário para a piquetagem da curva.

$$Az(OT_2) = Az(C_2T_2) + 100$$

$$Az(OT_2) = 93,8278587gr$$

Segue-se a piquetagem da curva em clotóide. Na figura 8 apresentam-se os eixos que definem as coordenadas relativas da curva.

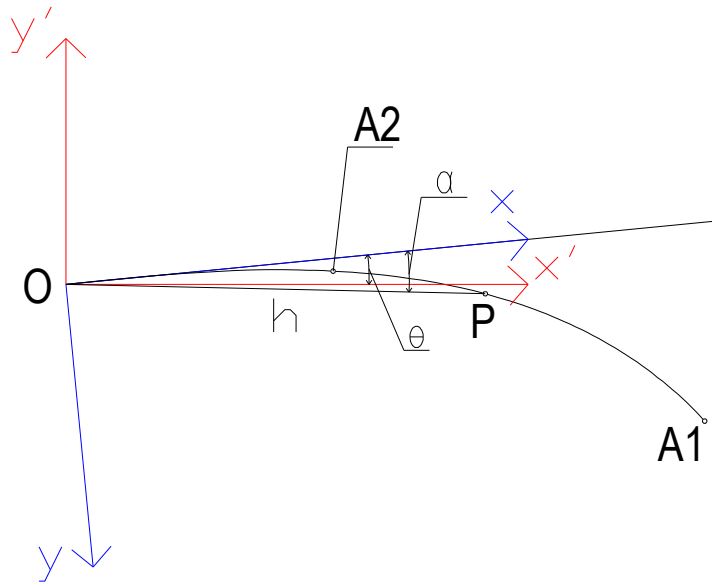


Fig.8 – Construção da curva em clotóide.

A partir das equações 6 e 7, chegou-se à equação 18 que relaciona o ângulo da tangente em cada ponto da clotóide com o desenvolvimento desta.

$$\tau = \frac{L^2}{2 \cdot A^2} \quad (18)$$

O raio calcula-se através da equação 6, e embora não seja necessário para a piquetagem, serve para controlo de quando é atingido o raio final, r_1 . As coordenadas relativas x e y em relação à origem O foram calculadas pelas equações 8 e 9, já utilizadas. Sendo P um ponto qualquer da clotóide, tomou-se como h a recta que une a origem O com o ponto P . Com a seguinte relação trigonométrica obtém-se o comprimento de h .

$$\cos(\alpha) = \frac{x}{h} \Leftrightarrow h = \frac{x}{\cos(\alpha)}$$

Sendo α o ângulo, em grados, que h faz com o eixo x , este calcula-se pela equação seguinte.

$$\alpha = 100 - \arctan\left(\frac{x}{y}\right)$$

O ângulo entre os eixos x e x' é o ângulo θ , calculado a partir do azimuth $Az(OT_2)$.

$$\theta = 100 - Az(OT_2)$$

$$\theta = 100 - 93,8278587 = 6,1721413 \text{ gr}$$

Das relações trigonométricas retira-se que:

$$\begin{cases} \cos(\theta - \alpha) = \frac{x'}{h} \\ \sin(\theta - \alpha) = \frac{y'}{h} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x' = h \cdot \cos(\theta - \alpha) \\ y' = h \cdot \sin(\theta - \alpha) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x' = \frac{x}{\cos(\alpha)} \cdot \cos(\theta - \alpha) \\ y' = \frac{x}{\cos(\alpha)} \cdot \sin(\theta - \alpha) \end{cases} \quad (19)$$

A passagem para o referencial de coordenadas absolutas (M,P) acontece adicionando as coordenadas relativas x' e y' com as coordenadas da origem do referencial, (M_o, P_o)

$$\begin{cases} M = x' + M_o \\ P = y' + P_o \end{cases} \quad (20)$$

Apresenta-se em anexo o quadro A₁ com a piquetagem dos pontos da clotóide em cada 0,5 metros, situando-se a parcela da curva desejada entre os pontos A₂ e A₁. Transcreveram-se para o quadro 7 apenas as coordenadas dos pontos A₂ e A₁.

Quadro 7 – Coordenadas dos pontos A₂ e A₁.

	M	P
A ₂	-1.771,091	169.430,029
A ₁	-1.754,672	169.423,418

Pode conferir-se que as distâncias ente os pontos C₂ e A₂ determinado pela equação da clotóide, e os pontos C₁ e A₁ determinado pela equação da clotóide, são iguais a r_2 e r_1 , respectivamente.

Passou-se à piquetagem da curva circular de raio r_2 . A partir de um ângulo ao centro e do raio, pode determinar-se o desenvolvimento de uma curva circular através da equação 21, estando α em graus.

$$d = \alpha \cdot R \cdot \frac{\pi}{200} \quad (21)$$

Entre os pontos A e A₂ a directriz desenvolve-se em curva circular. Calculou-se o rumo C₂A₂:

$$Az(C_2A_2) = \arctan\left(\frac{M_{A_2} - M_{C_2}}{P_{A_2} - P_{C_2}}\right)$$

O rumo C₂A é igual ao rumo C₀A já calculado, já que os três pontos se encontram sobre uma só recta. Com os rumos C₂A e C₂A₂ calculou-se o ângulo ao centro α_2 :

$$\alpha_2 = Az(C_2A_2) - Az(C_2A)$$

O ângulo ao centro α_2 e o raio r_2 permitem determinar o desenvolvimento da curva circular:

$$d = \alpha_2 \cdot R_2 \cdot \frac{\pi}{200}$$

Apresentam-se estes valores no quadro 8. Dividiu-se o ângulo α_2 em pequenos intervalos $\Delta\alpha_2$ de modo à piquetagem ser feita com pontos intervalados de 0,5m.

Quadro 8 – Curva circular de centro C_2 .

$Az(C_2A)$ (gr)	-26,0374390
$Az(C_2A_2)$ (gr)	3,0335378
α_2 (gr)	29,0709768
R_2 (m)	40,909
d (m)	18,6810
$\Delta\alpha_2$ (gr)	0,8075271

A piquetagem de pontos da curva circular de raio r_2 apresenta-se no quadro A₂ em anexo.

Efectuou-se o mesmo processo para a piquetagem da curva circular de raio r_1 . A curva está compreendida entre os pontos A₁ e B'. A partir das coordenadas do centro C₁ (quadro 4) e A₁ (quadro 7), determinou-se o rumo entre os dois pontos:

$$Az(C_1A_1) = \arctan\left(\frac{M_{A1} - M_{C1}}{P_{A1} - P_{C1}}\right)$$

De seguida determinou-se o rumo C₁B, sobre o eixo maior, somando 100 graus ao rumo C₂A já calculado:

$$Az(C_1B) = Az(C_2A) + 100$$

O ângulo ao centro α_1 é igual à diferença entre os dois rumos:

$$\alpha_1 = Az(C_1B) - Az(C_1A)$$

O ângulo ao centro α_1 e o raio r_1 permitem determinar o desenvolvimento da curva circular de centro C₁:

$$d = \alpha_1 \cdot R_1 \cdot \frac{\pi}{200}$$

No quadro 9 apresentam-se os valores calculados. Dividiu-se o ângulo α_1 em pequenos intervalos $\Delta\alpha_1$ de modo à piquetagem ser feita com pontos intervalados de 0,5m.

Quadro 9 – Curva circular de centro C_1 .

$Az(C_1B)$	73,9625610
$Az(C_1A_1)$	53,0176243
α_1 (gr)	20,9449366
R_1 (m)	16,133
d (m)	5,3079
$\Delta\alpha_1$ (gr)	0,6346950

A piquetagem de pontos da curva circular de raio r_1 apresenta-se no quadro A_3 em anexo.

O ponto B, inicialmente calculado a partir da medida do eixo maior da elipse, sofre agora um ajustamento da sua posição para B', através do cálculo encadeado de toda a curva a partir do ponto A. Isto aconteceu porque a medida do eixo menor, e como tal a posição do ponto A, foi inicialmente tomada como definitiva, construindo-se a curva a partir desse ponto até atingir o eixo maior. Este eixo maior acaba por ser ligeiramente mais longo que o tomado inicialmente, por a directriz não ser uma elipse perfeita mas sim uma aproximação. As suas coordenadas definitivas, bem como o desenvolvimento do bordo exterior da rotunda entre A e B', estão no quadro 10.

Quadro 10 – Coordenadas do ponto B' e desenvolvimento entre A e B'.

	M	P
B'	-1.751,805	169.418,979
L_{AB} (m)	42,158	

Fazendo o encadeamento para o primeiro quadrante da curva circular de raio r_2 , curva de transição em clotóide e curva circular de raio r_1 , apresenta-se a listagem de coordenadas dos pontos para a piquetagem no quadro A_4 em anexo.

O desenvolvimento total da directriz, correspondente ao bordo exterior da rotunda, é quatro vezes o correspondente ao primeiro quadrante, ou seja:

$$L_{total} = 4 \cdot 42,158 = 168,631m$$

No quadro 11 apresentam-se os pontos notáveis para o traçado em planta, correspondentes à totalidade da rotunda, tomando como km 0+000 o ponto A. Abrevia-se Curva Circular como CC e Curva de Transição como CT.

Quadro 11 – Pontos notáveis para o traçado em planta.

Km	L _{parcial} (m)	Pontos Notáveis
0+000,000	0,000	CC1
0+018,681	18,681	Fim CC1 / Início CT1
0+036,850	18,169	Fim CT1 / Início CC2
0+047,466	10,616	Fim CC2 / Início CT2
0+065,635	18,169	Fim CT2 / Início CC3
0+102,996	37,362	Fim CC3 / Início CT3
0+121,165	18,169	Fim CT3 / Início CC4
0+131,781	10,616	Fim CC4 / Início CT4
0+149,950	18,169	Fim CT4 / Início CC1
0+168,631	18,681	CC1

Na figura 9 apresenta-se em planta o bordo exterior da rotunda, juntamente com os seus pontos notáveis relativos aos pontos de osculação de cada curva, correspondendo o ponto A ao Km 0+000,000.

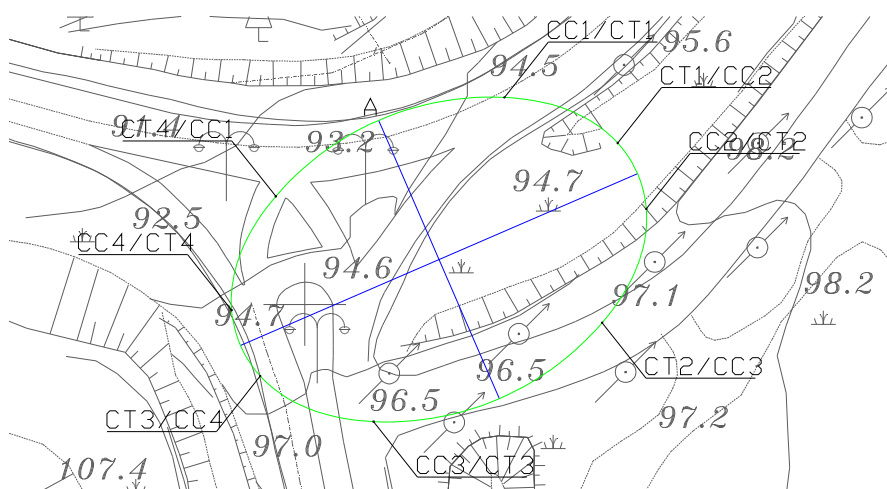


Fig.9 – Bordo exterior da rotunda com os pontos notáveis.

De seguida construiu-se o bordo interior da rotunda, tendo em conta a largura de 8m para as duas vias existentes. Fez-se a construção inicialmente para o primeiro quadrante, e posteriormente rebateu-se para os restantes. As duas curvas circulares foram traçadas a partir dos centros C_2 e C_1 , com raios inferiores em 8m aos raios r_2 e r_1 :

$$r_2 - 8,000 = 40,909 - 8,000 = 32,909m$$

$$r_1 - 8,000 = 16,133 - 8,000 = 8,133m$$

No caso da clotoide, calculou-se o rumo do centro em cada ponto da curva, entre os pontos A_2 e A_1 . Considerando um ponto genérico P, determinou-se o rumo da tangente, igual à soma do rumo OT correspondente à recta de origem da clotoide (já calculado) com o ângulo τ da tangente à curva no ponto P:

$$Az(OT_1) = 93,8278587gr$$

$$Az(\text{tangente}) = Az(OT_1) + \tau$$

A partir do rumo da tangente, determinou-se o rumo ao centro, sendo este igual ao rumo da perpendicular à tangente.

$$Az(\text{centro}) = Az(\text{tangente}) + 100$$

Achou-se o ponto P' à distância de 8m na direcção do rumo ao centro.

$$\begin{cases} M_{P'} = M_P + 8 \cdot \sin(Az(\text{centro})) \\ P_{P'} = P_P + 8 \cdot \cos(Az(\text{centro})) \end{cases}$$

A figura 10 apresenta a construção citada.

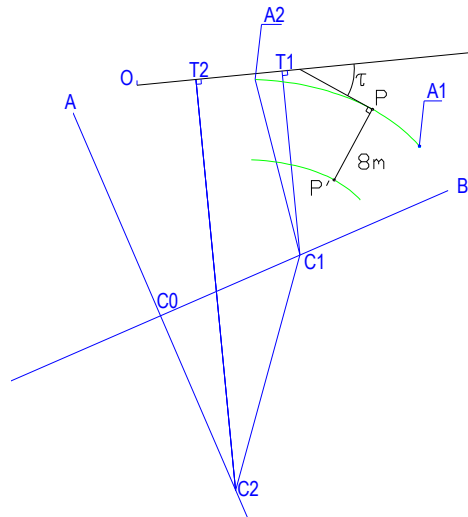


Fig.10 – Construção da clotóide do bordo interior, para o 1º quadrante da rotunda.

Apresentam-se os cálculos das coordenadas para o bordo interior no quadro A5 em anexo. Na figura 11 observam-se os dois bordos da rotunda em planta.

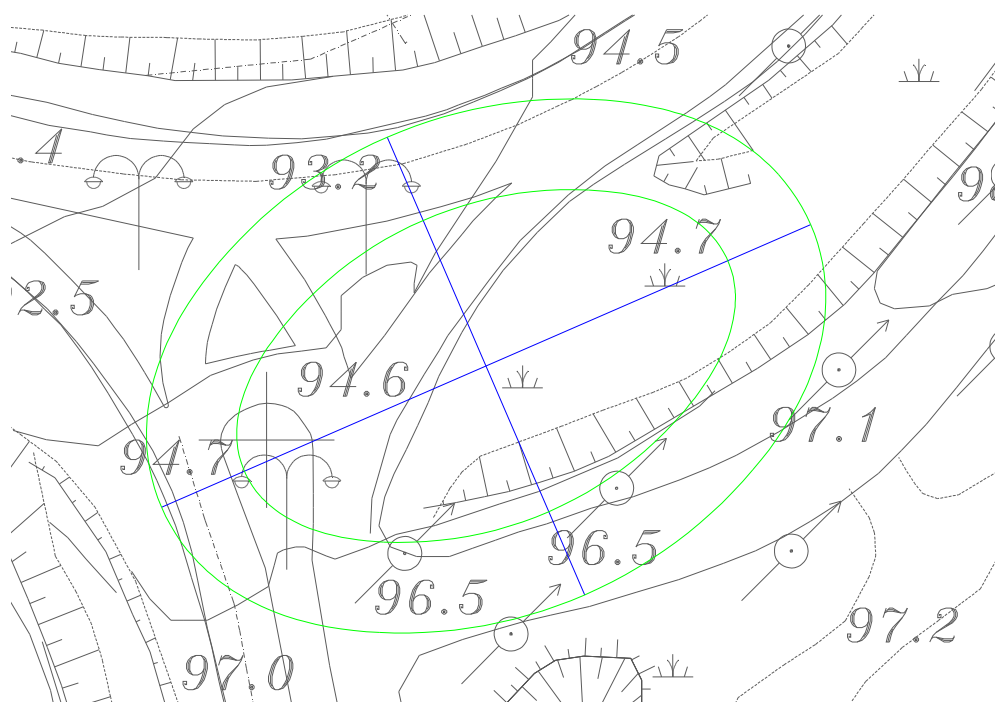


Fig.11 – Planta da rotunda, bordos exterior e interior.

A inserção do eixo dos arruamentos na rotunda deve ser o mais aproximado possível de uma perpendicular e ao mesmo tempo acompanhada de uma deflexão da trajectória, de forma a incentivar uma redução da velocidade dos veículos na aproximação à rotunda. Definiram-se como I_1 , I_2 , I_3 e I_4 os pontos de inserção dos arruamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, com a rotunda. Estes pontos devem ser o mais espaçados possível, não provocando interferências com os movimentos de entradas e saídas da rotunda. Ao mesmo tempo, os raios de curvatura têm de cumprir os valores mínimos aceitáveis. Por essa razão, verificou-se não ser possível manter o traçado existente da directriz do arruamento 2, sendo necessário afastá-lo do arruamento 1. Este processo será detalhado mais à frente, aquando da descrição particular de cada um dos arruamentos. Na figura 12 apresentam-se em planta os pontos de intersecção dos arruamentos com o bordo exterior da rotunda.

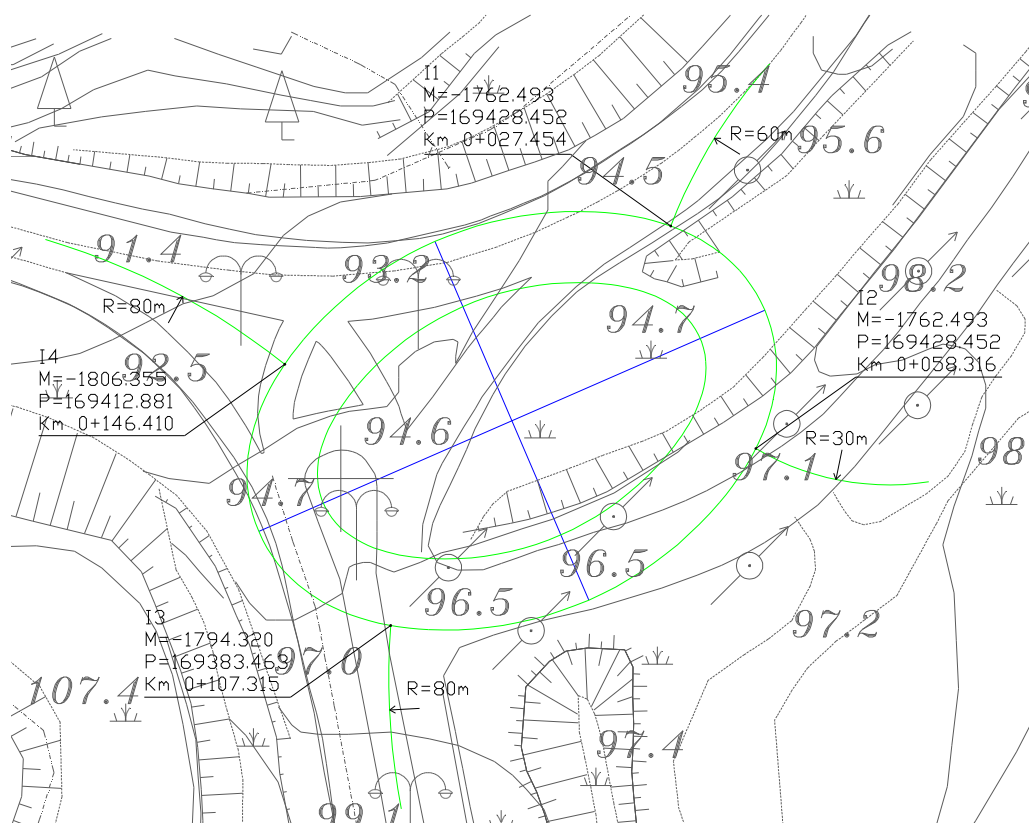


Fig.12 – Pontos de intersecção da directriz dos arruamentos com a rotunda.

No quadro 12 apresentam-se os raios da curvatura de inserção.

Quadro 12 – Raios de curva de inserção dos arruamentos na rotunda.

	Raio (m)
Arruamento 1	60,0
Arruamento 2	30,0
Arruamento 3	80,0
Arruamento 4	80,0

A inserção dos quatro arruamentos acontece quando a curvatura da rotunda se encontra em clotóide. A determinação das distâncias de cada ponto à origem da rotunda foi conseguida rebatendo os pontos de inserção dos arruamentos para o primeiro quadrante da rotunda. A partir da piquetagem das coordenadas dos pontos da clotóide, com uma precisão ao milímetro, compararam-se as coordenadas relativas dos pontos de inserção dos arruamentos no primeiro quadrante, determinando-se o desenvolvimento desde a origem da clotóide até cada ponto. Por fim, fez-se a conversão das distâncias para a posição absoluta dos pontos. Apresentam-se no quadro 13 as coordenadas dos quatro pontos de inserção dos arruamentos: coordenadas absolutas, coordenadas relativas ao primeiro quadrante, e ponto a partir do qual será necessário medir a distância para fazer a conversão da distância ao Km 0+000 da rotunda.

Quadro 13 – Coordenadas dos pontos de inserção dos arruamentos na rotunda.

Ponto	Coordenadas absolutas		Coordenadas relativas ao 1ºQ		Medir distância
	M	P	M	P	
I ₁	-1.762,493	169.428,452	-1.762,493	169.428,452	Do início
I ₂	-1.752,820	169.403,388	-1.763,877	169.428,898	Do fim
I ₃	-1.794,320	169.383,463	-1.766,799	169.429,569	Do início
I ₄	-1.806,355	169.412,881	-1.767,569	169.429,693	Do fim

No quadro 14 apresenta-se determinação das distâncias à origem, tratando os pontos de inserção dos arruamentos no primeiro quadrante. Sublinha-se esta situação, já que depois de determinada a distância relativa à origem da clotóide, será apresentada a distância à origem da rotunda. As três primeiras colunas correspondem ao desenvolvimento, ângulo da tangente e raio de cada ponto da clotóide, imediatamente anterior, coincidente e imediatamente posterior à intersecção com o arruamento. As duas colunas seguintes correspondem às coordenadas de cada ponto da clotóide. As coordenadas do arruamento apresentam-se para comparação com as da clotóide. A última coluna do quadro concretiza a distância entre os dois pontos, sendo a linha do meio a de menor distância, correspondendo ao ponto mais próximo da inserção do arruamento. O objectivo é retirar o valor de L correspondente.

Quadro 14 – Pontos de inserção do arruamento na rotunda, tratamento no primeiro quadrante.

L (m)	τ (rad)	R (m)	Coordenadas clotóide		Coordenadas ponto		Distância (m)
			M	P	M	P	
Ponto I ₄ (1ºQ)							
15,370	0,2440464	61,464	-1.767,569	169.429,693	-1.767,569	169.429,693	0,0006
15,371	0,2440781	61,456	-1.767,568	169.429,692	-1.767,569	169.429,693	0,0004
15,372	0,2441099	61,448	-1.767,567	169.429,692	-1.767,569	169.429,693	0,0014
Ponto I ₃ (1ºQ)							
16,149	0,2694114	55,677	-1.766,800	169.429,569	-1.766,799	169.429,569	0,0013
16,150	0,2694447	55,670	-1.766,799	169.429,569	-1.766,799	169.429,569	0,0004
16,151	0,2694781	55,663	-1.766,798	169.429,568	-1.766,799	169.429,569	0,0008
Ponto I ₂ (1ºQ)							
19,149	0,379	39,598	-1.763,878	169.428,898	-1.763,877	169.428,898	0,0006
19,150	0,379	39,594	-1.763,877	169.428,898	-1.763,877	169.428,898	0,0004
19,151	0,379	39,590	-1.763,876	169.428,897	-1.763,877	169.428,898	0,0014
Ponto I ₁ (1ºQ)							
20,603	0,439	34,206	-1.762,494	169.428,453	-1.762,493	169.428,452	0,0012
20,604	0,439	34,203	-1.762,493	169.428,452	-1.762,493	169.428,452	0,0002
20,605	0,439	34,200	-1.762,492	169.428,452	-1.762,493	169.428,452	0,0008

Calculando as distâncias AI_1 , AI_2 , AI_3 e AI_4 ,

$$AI_1 = \overline{AA_2} + (\overline{OI_1} - \overline{OA_2}) = 18,681 + (20,604 - 11,831) = 27,454m$$

$$AI_2 = \overline{AA_2} + (\overline{OA_1} - \overline{OA_2}) + 2 \cdot \overline{A_1B} + (\overline{OA_1} - \overline{OI_2})$$

$$= 18,681 + (30,000 - 11,831) + 2 \cdot 5,308 + (30,000 - 19,150) = 58,316m$$

$$AI_3 = \overline{AA_2} + 2 \cdot (\overline{OA_1} - \overline{OA_2}) + 2 \cdot \overline{A_1B} + 2 \cdot \overline{AA_2} + (\overline{OI_3} - \overline{OA_2})$$

$$= 18,681 + 2 \cdot (30,000 - 11,831) + 2 \cdot 5,308 + 2 \cdot 18,681 + (16,150 - 11,831) = 107,315m$$

$$\overline{AI_4} = \overline{AA_2} + 3 \cdot (\overline{OA_1} - \overline{OA_2}) + 4 \cdot \overline{A_1B} + 2 \cdot \overline{AA_2} + (\overline{OA_1} - \overline{OI_4})$$

$$= 18,681 + 3 \cdot (30,000 - 11,831) + 4 \cdot 5,308 + 2 \cdot 18,681 + (30,000 - 15,371) = 146,410m$$

No quadro 15 apresentam-se estes resultados.

Quadro 15 – Distância do ponto de inserção ao Km 0+000 da rotunda.

Ponto	Km
I_1	0+027,454
I_2	0+058,316
I_3	0+107,315
I_4	0+146,410

Continuando o traçado em planta, definiram-se as larguras das vias de entrada e saída da rotunda com 4 e 5 metros, respectivamente.

Começou-se pela construção gráfica em planta do arruamento 1. Essa construção efectua-se no sentido decrescente dos km, da rotunda para o início do arruamento. A directriz corresponde ao segmento O_1I_1 , sendo os km crescentes para a rotunda. A explicação a que se refere corresponde à figura 13 que se apresenta de seguida.

A inserção na rotunda em curva circular tem um raio de 60m. A partir do centro da directriz, traçaram-se dois arcos com o mesmo centro e raios 56m e 65m, dando uma largura de 4m à via direita (via de entrada) e de 5m à via esquerda (via de saída).

Definiu-se um raio de 20m para o bordo direito da via de direita e um raio de 30m para o bordo esquerdo da via esquerda, em curvas circulares.

O traçado do bordo direito da via direita foi definido com o raio de 20m, tangente ao bordo exterior da rotunda no ponto E_1 e tangente ao arco de raio 64m no ponto G_1 , referente à largura da via direita. O bordo esquerdo da via direita obteve-se com o mesmo centro e um raio de 24m, dando uma largura de 4m à via de entrada. É tangente à directriz no ponto H_1 .

A curva circular do bordo esquerdo da via esquerda é definido com as condições do raio, tangente ao bordo exterior da rotunda, no ponto F_1 , e bordo esquerdo do arruamento, no ponto L_1 . Obteve-se assim o centro. Com esse centro e somando 5 metros ao raio, obteve-se o bordo direito da via esquerda. Este arco estende-se até ao ponto K_1 , e segue como uma curva suave até atingir a directriz no ponto M_1 .

Ao longo do arruamento, à medida que nos afastamos da rotunda, adaptou-se gradualmente a largura das vias projectadas à largura das vias existentes.

Por fim eliminam-se os segmentos das curvas desnecessários, dando origem à figura 13.

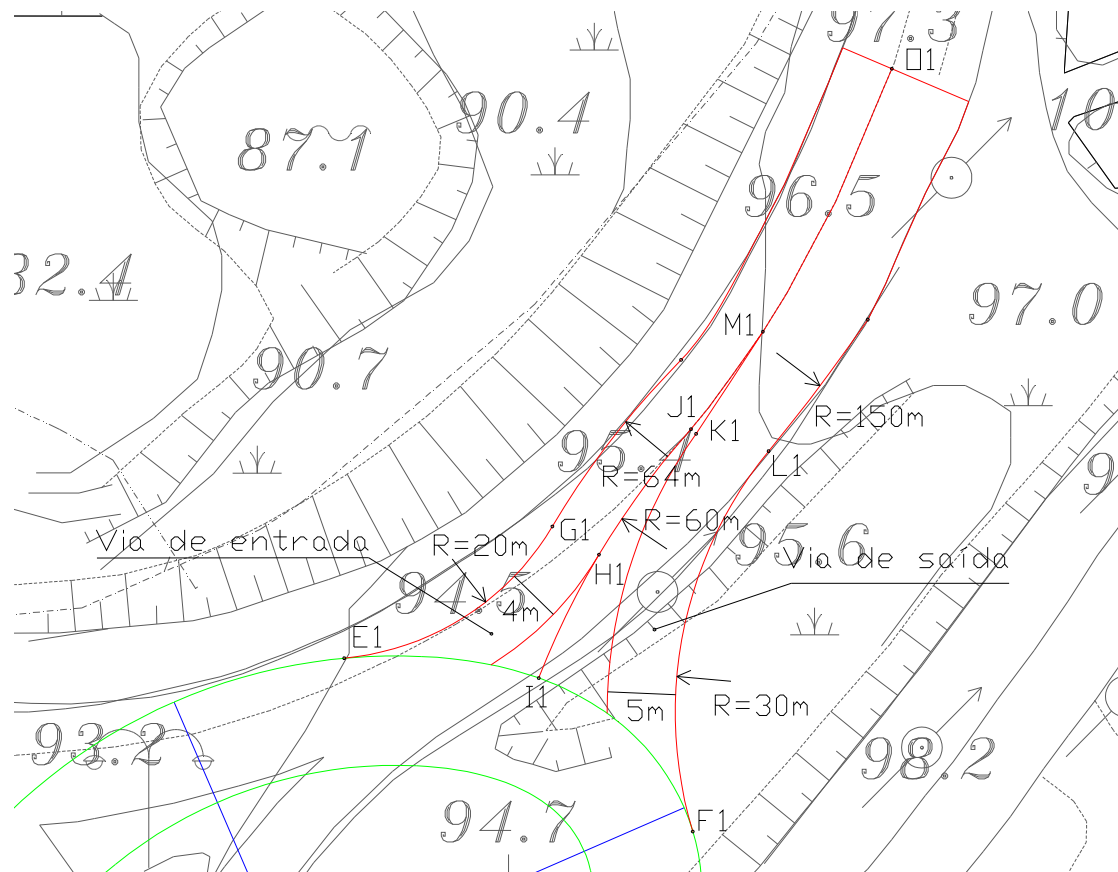


Fig.13 – Construção da inserção do arruamento 1, em planta.

No arruamento 2, a directriz correspondente ao segmento O_2I_2 , sendo os km crescentes para a rotunda, foi afastada da directriz do arruamento existente, de modo a permitir um raio mínimo de entrada de valores admissíveis e para não sobrepor a entrada deste arruamento com a saída do arruamento anterior. Outra condicionante encontra-se junto ao ponto de origem da directriz, o ponto O_2 , km 0+000 do arruamento, em que a proximidade de um talude vai condicionar a curvatura de regresso ao traçado existente.

A construção gráfica efectua-se no sentido decrescente dos km, da rotunda para o início do arruamento. A partir da directriz em curva circular, com um raio de 30m, traçaram-se dois arcos com centro coincidente com o centro da directriz, e raios 35m e 26m, relativos às vias esquerda e direita, respectivamente.

Tangente ao arco de menor raio, e ao bordo exterior da rotunda, no ponto E_2 , traçou-se o bordo direito da via direita, com o raio mínimo admissível de 15m. Com o mesmo centro e raio 19m, traçou-se o bordo esquerdo da mesma via, intersectando a directriz no ponto J_2 .

O bordo esquerdo da via esquerda tem raio de 35m, é tangente ao bordo exterior da rotunda, no ponto F_2 , e ao arco concêntrico com a directriz e raio 35m, no ponto H_2 . O bordo direito da via esquerda tem o mesmo centro que o bordo esquerdo e raio 35m, intersectando a directriz no ponto G_2 .

A partir dos pontos L_2 e N_2 , que distam 4m e 5m da directriz, os bordos direito e esquerdo aproximam-se da directriz até atingirem uma largura de cada via de 3,5m no ponto O_2 . Essa aproximação é

conseguida com arcos de raio 38,5m e 31,5m, tangentes aos arcos anteriores nos pontos L_2 e N_2 , e com centros distintos entre si.

A construção descrita apresenta-se na figura 14.

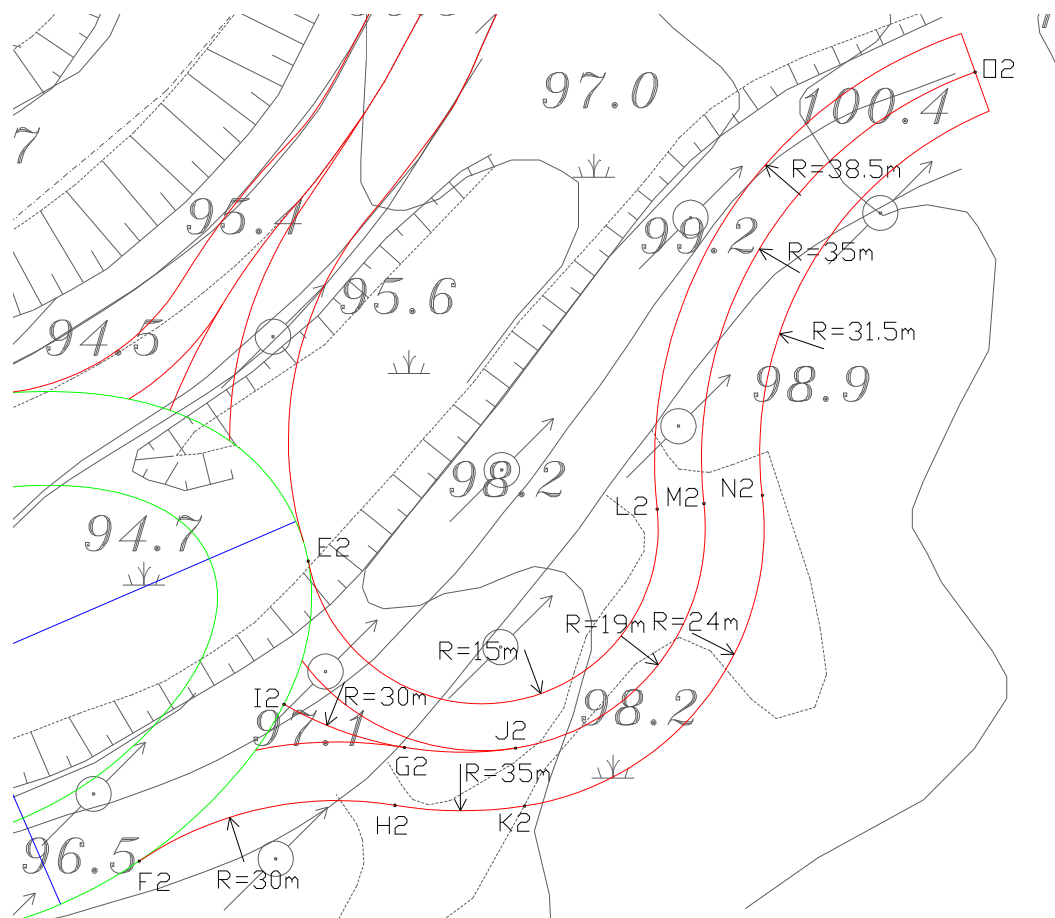


Fig.14 – Construção da inserção do arruamento 2, em planta.

O traçado existente do arruamento 3 tem um separador central que se prolonga ao longo do arruamento existente até à intersecção. A directriz corresponde ao segmento O_3I_3 , sendo os km crescentes para a rotunda. No projecto, o separador teve de ser destruído junto à intersecção, e após a deflexão de movimentos relativos à entrada e saída da rotunda, as vias retornam à sua posição no traçado existente, retomando-se o separador central logo que a largura da faixa de rodagem o permita.

O ponto J_3 corresponde ao ponto em que a directriz de projecto, em curva circular, atinge a directriz existente, em recta. A partir do segmento da directriz em curva circular, com um raio de 80m, traçaram-se dois arcos de centro concêntrico com o da directriz, e raios 85m e 76m, relativos às vias de esquerda e direita, respectivamente.

O bordo direito da via direita tem raio de 20m, é tangente ao bordo exterior da rotunda, no ponto F_3 , e ao arco de raio 76m concêntrico com a directriz. O bordo esquerdo da via direita tem o mesmo centro que o bordo direito, raio 24m, é tangente à directriz e estende-se até ao ponto K_3 .

O bordo esquerdo da via esquerda tem raio de 30m, é tangente ao bordo exterior da rotunda, no ponto E_3 , e ao arco de raio 85m concêntrico com a directriz. O bordo direito da via esquerda tem o mesmo centro que o bordo esquerdo, raio 35m, é tangente à directriz e estende-se até ao ponto H_3 .

Os bordos das vias projectadas ajustam-se aos bordos das vias existentes com traçados em curvas circulares, sempre tangentes à curva circular anterior e ao bordo da via existente, e raio amplo.

A construção descrita apresenta-se na figura 15.

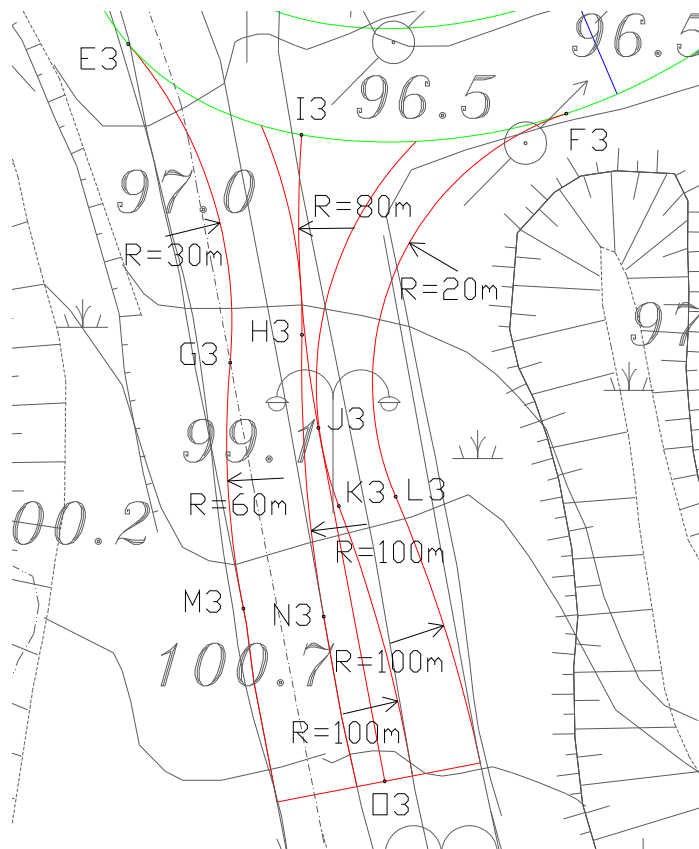


Fig.15 – Construção da inserção do arruamento 3, em planta.

O arruamento 4, no sentido de aproximação à rotunda, possui 2 vias no traçado existente, sendo a via da direita fechada para dar origem à largura de via de 4m para entrada na rotunda. O segmento O_4I_4 corresponde à directriz do traçado, sendo os km crescentes para a rotunda.

O ponto L_4 corresponde ao ponto em que a directriz de projecto, em curva circular, atinge a directriz existente, em recta. A partir do segmento da directriz em curva circular, com um raio de 80m, traçaram-se dois arcos concêntricos com a directriz, e raios 85m e 76m, relativos às vias esquerda e direita, respectivamente.

O bordo direito da via direita tem raio de 20m, é tangente ao bordo exterior da rotunda, no ponto F_4 , e ao arco de raio 74m concêntrico com a directriz, no ponto K_4 . O bordo esquerdo da via direita tem o mesmo centro que o bordo direito, raio 24m e é tangente à directriz no ponto J_4 .

O bordo esquerdo da via esquerda tem raio de 30m, é tangente ao bordo exterior da rotunda, no ponto E_4 , e ao arco de raio 85m concêntrico com a directriz, no ponto G_4 . O bordo direito da via esquerda tem o mesmo centro que o bordo esquerdo, raio 35m e é tangente à directriz no ponto H_4 .

Os bordos das vias projectadas ajustam-se aos bordos das vias existentes com traçados em curvas circulares, sempre tangentes à curva circular anterior e ao bordo da via existente, e raio amplo.

A construção descrita apresenta-se na figura 16.

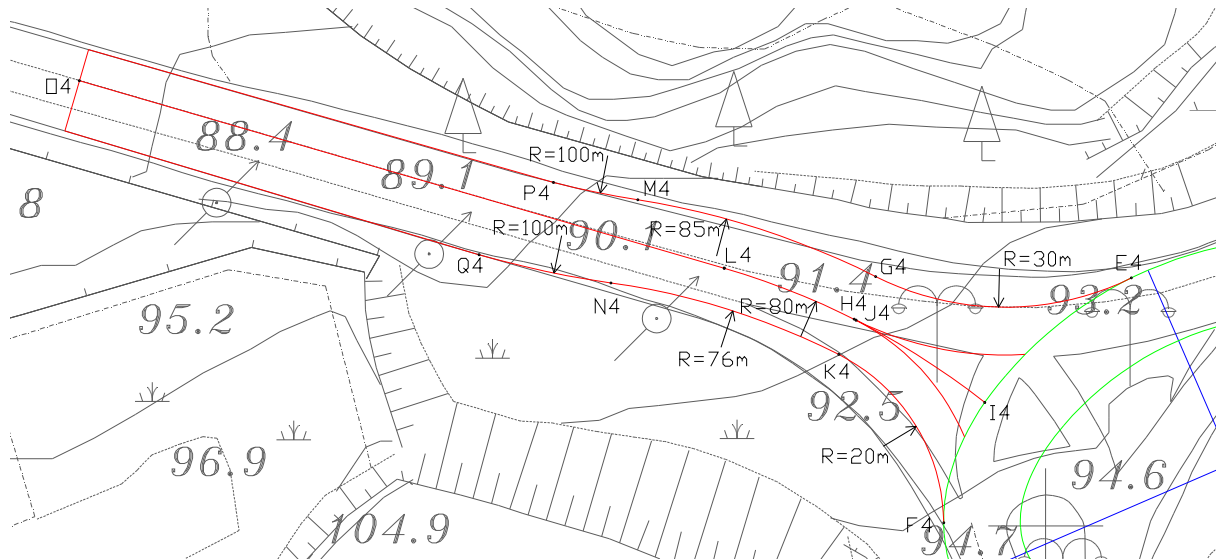


Fig.16 – Construção da inserção do arruamento 4, em planta.

De seguida traçaram-se as bermas da rotunda sendo, como já foi indicado, a berma interior de 0,5m e a berma exterior de 2,5m. O traçado foi feito com paralelas aos bordos interior e exterior. Na figura 17 observa-se o resultado, antes de serem traçadas as bermas dos arruamentos.

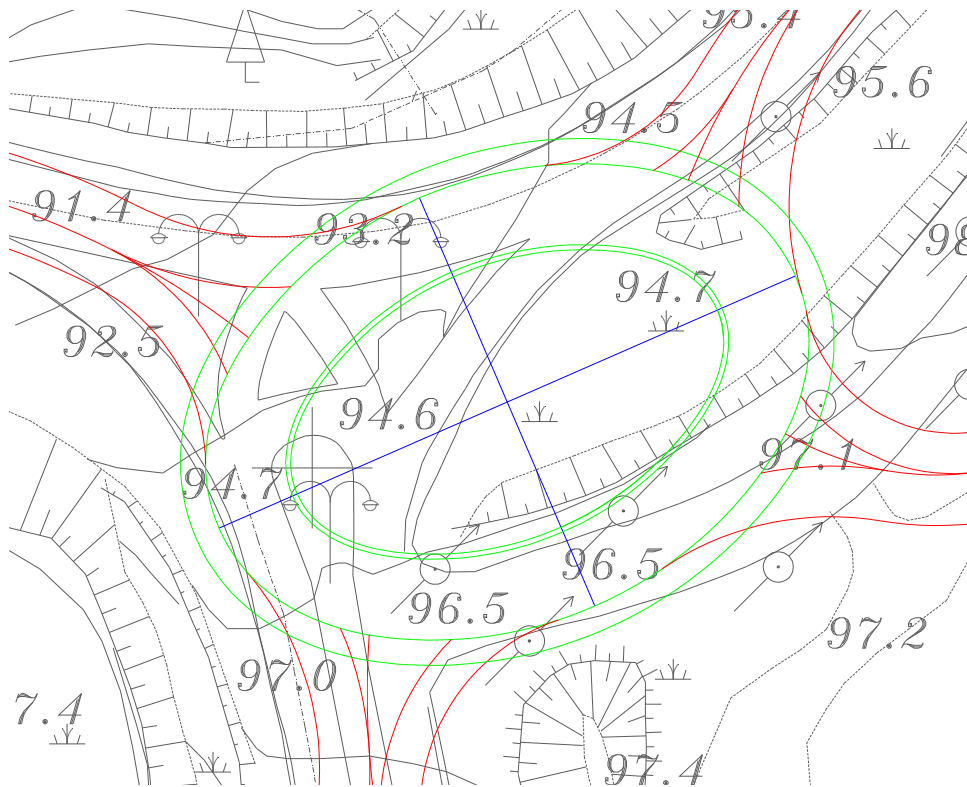


Fig.17 – Bermas da rotunda, em planta.

O traçado das bermas do arruamento 1 foi efectuado igualmente com curvas concêntricas ou rectas paralelas aos bordos das vias. As bermas exteriores da faixa de rodagem têm uma largura de 2,5m, sendo junto à rotunda tangentes à berma desta, eliminando-se os segmentos desnecessários para o traçado.

Aquando da deflexão dos movimentos de entrada e saída da rotunda, construiu-se a ilha divisória, mantendo uma berma interior de 0,5m ao longo da ilha. Traçaram-se duas paralelas, à distância de 0,5m, ao bordo esquerdo da via direita e ao bordo direito da via esquerda. No ponto em que as paralelas intersectam a linha que limita a berma da rotunda, fizeram-se duas concordâncias, em arco, com raio de 0,75m, formando o final da ilha no início da berma exterior da rotunda. O início da ilha acontece no ponto em que existe largura suficiente, entre as duas paralelas, para descrever uma circunferência com raio 0,75m.

A construção descrita apresenta-se na figura 18.

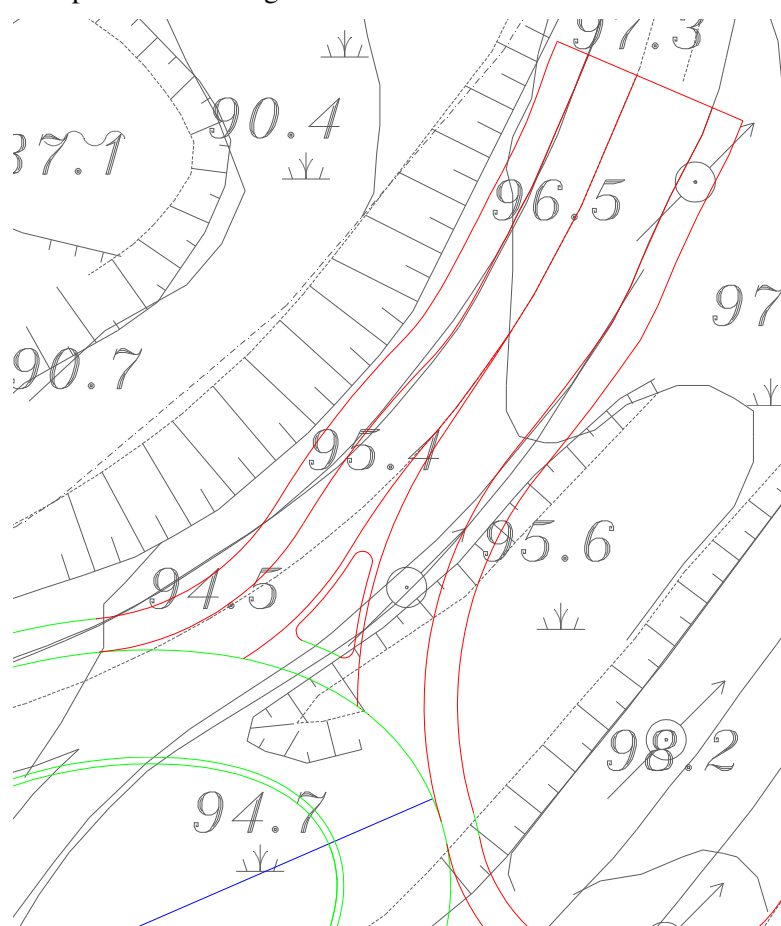


Fig.18 – Construção das bermas do arruamento 1, em planta.

No arruamento 2 a construção é idêntica. Salienta-se o facto da berma direita ser reduzida de 2,5m para 1,6m, na zona do talude junto ao km 0+000 do arruamento. Essa redução é feita gradualmente no sentido dos km decrescentes, a partir do alinhamento de curvatura contrária, ao mesmo tempo que a largura da via diminui de 4,0m para 3,5m.

A construção das bermas para o arruamento 2 apresenta-se na figura 19.

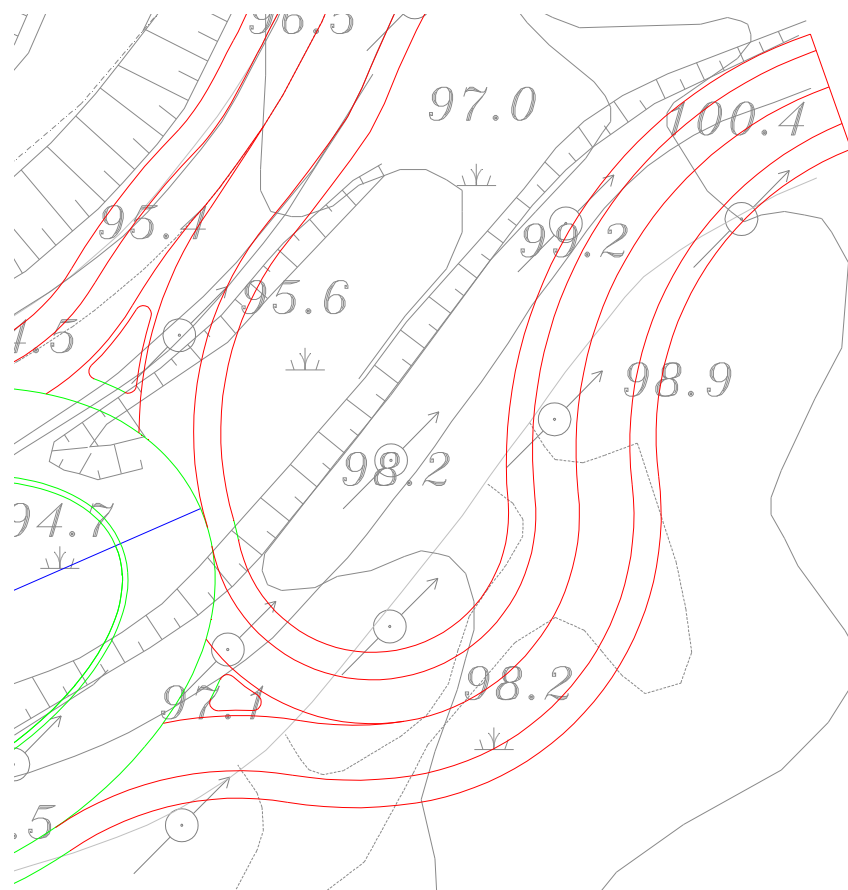


Fig.19 – Construção das bermas do arruamento 2, em planta.

O arruamento 3 tem uma construção idêntica para as bermas exteriores e interiores. Sendo estas de 2,5m e 0,5m, respectivamente. Além da construção da ilha, idêntica às anteriores, fez-se igualmente a retoma do separador, no sentido dos km decrescentes, a partir do ponto em que a berma interior o permite. O início do separador tem forma idêntica à ilha central, circular com raio de 0,75m, mantendo as bermas de 0,5m. Observa-se o resultado na figura 20.

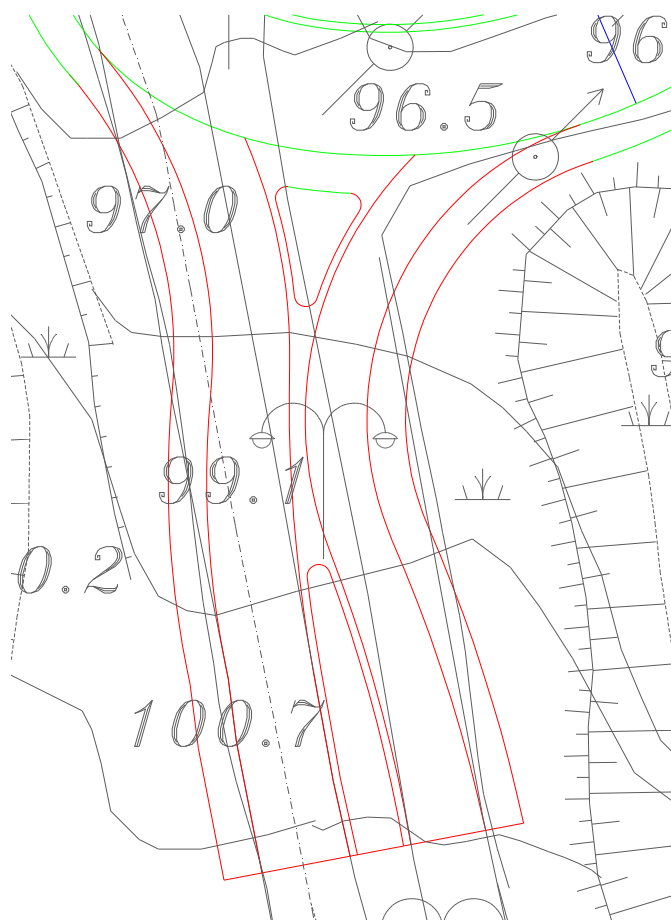


Fig.20 – Construção das bermas do arruamento 3, em planta.

A construção das bermas do arruamento 4 não traz nada de novo, apresentando-se o resultado na figura 21.

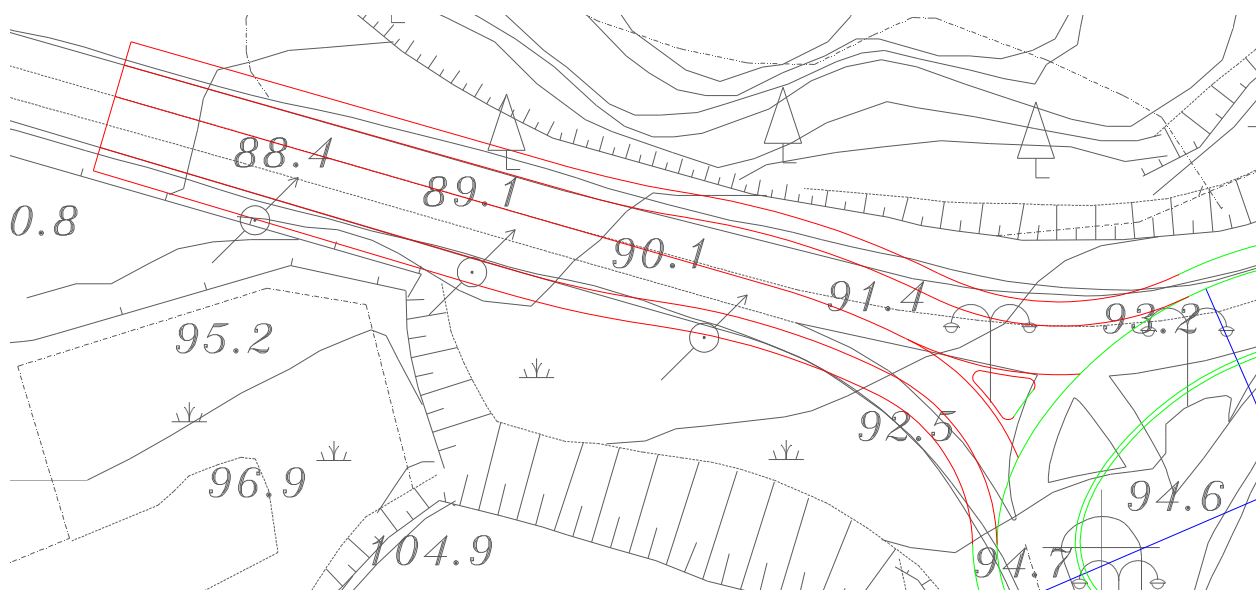


Fig.21 – Construção das bermas do arruamento 4, em planta.

4.2. TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

4.2.1. ROTUNDA

A partir da directriz da rotunda, definida pelo seu bordo exterior, retiraram-se as cotas do terreno, para pontos intervalados de 6,25m. No quadro A6, em anexo, encontra-se a listagem de cotas do terreno sob o bordo exterior da rotunda. No quadro 16 apresentam-se as cotas do terreno dos pontos de inserção dos arruamentos na rotunda.

Quadro 16 – Cotas do terreno dos pontos de inserção dos arruamentos, e desenvolvimento na rotunda.

	Desenvolv. (m)	Cota (m)
Arruamento 1	27,454	94,76
Arruamento 2	58,316	96,70
Arruamento 3	107,315	96,64
Arruamento 4	146,410	93,18

Com o valor das cotas, traçou-se o perfil longitudinal do terreno, marcando os pontos de inserção dos arruamentos na rotunda. Na figura 22 observa-se um esquema do perfil longitudinal do terreno. Salienta-se que os gráficos apresentados são provenientes da folha de cálculo, logo a relação entre eixos não se encontra à escala.

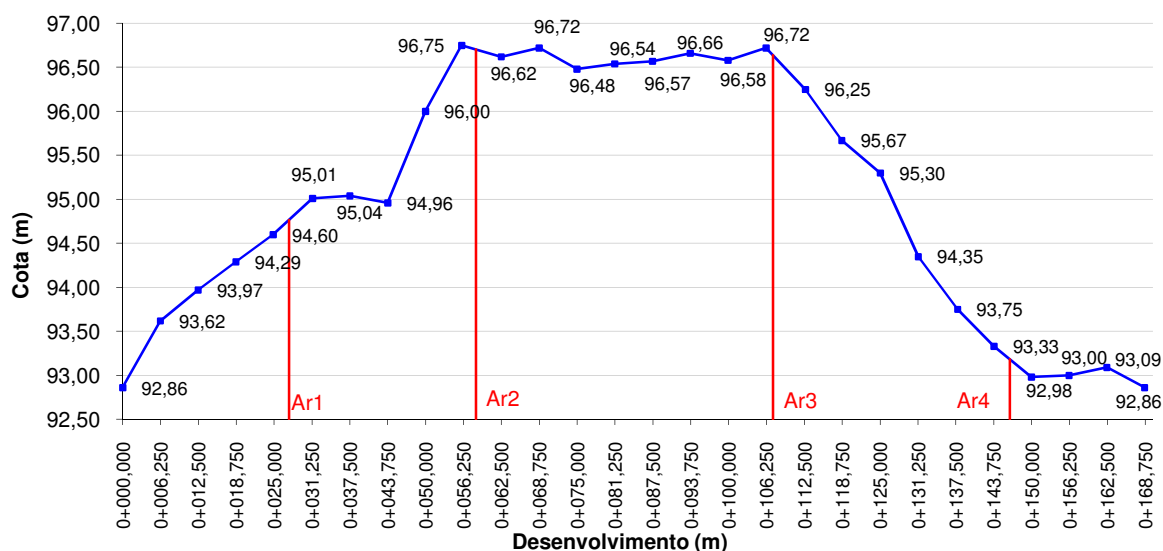


Fig.22 – Perfil longitudinal da rotunda, cotas do terreno.

Definiu-se, para a inclinação máxima longitudinal da rotunda, o valor de 4,00%. As concordâncias verticais, curvas de transição em perfil entre trainéis de diferente inclinação longitudinal, são efectuadas em parábola de eixo vertical e 2º grau. Estipulou-se um raio mínimo de 600 metros para concordâncias convexas e um raio mínimo de 400 metros para concordâncias côncavas.

Optou-se por projectar a rasante em aterro, por esta situação favorecer a drenagem da rotunda. Sendo assim, o ponto mais alto da rasante corresponde ao ponto de inserção do arruamento com cota mais elevada, neste caso o arruamento 2. Definiu-se, assim, que nos pontos de inserção dos arruamentos 2 e 3, correspondentes aos pontos I_2 e I_3 em planta, a cota da rasante seria igual à cota do terreno, obtendo-se um trainel com inclinação correspondente à diferença de cotas entre os dois pontos. O trainel

anterior encontra-se em rampa, com inclinação máxima, enquanto o trainel seguinte encontra-se em declive, com inclinação igualmente máxima. O ponto onde os dois trainéis se encontram é o ponto mais baixo da rasante. De salientar que a inclinação longitudinal da rotunda nos pontos de inserção dos arruamentos vai ser a inclinação transversal dos arruamentos nesse ponto.

Na figura 23 apresenta-se o perfil longitudinal da rotunda, incluindo o perfil do terreno e os três trainéis que definem a rasante.

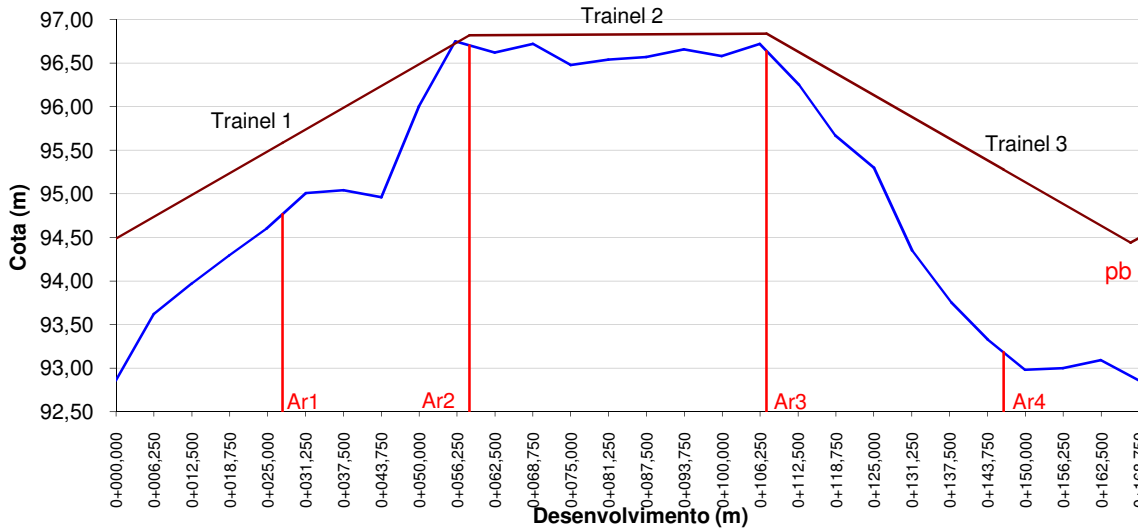


Fig. 23 – Perfil longitudinal da rotunda, com os trainéis da rasante.

Tratando-se de uma rotunda, existirá o cuidado de respeitar certas inclinações longitudinais iguais para o primeiro e último P.K., que são, aliás, o mesmo.

A equação 22 [1] relaciona o raio da concordância vertical com o seu desenvolvimento e inclinações dos trainéis anterior e posterior.

$$R = \frac{D}{(i_1 - i_2)} \quad (22)$$

Sabendo o raio e o desenvolvimento da concordância, através da equação 23 [1] determina-se a altura entre o vértice da rasante na união dos dois trainéis e o ponto médio da concordância que lhes está associada.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} \quad (23)$$

Definiu-se como concordância 1 a curva que liga os trainéis 1 e 2, concordância 2 a curva que liga os trainéis 2 e 3 e concordância 3 a curva que liga os trainéis 3 e 1. Fixou-se que o ponto médio das concordâncias coincidia com o ponto de inserção dos arruamentos, para os arruamentos 2 e 3. Na figura 24 apresenta-se o perfil longitudinal da rotunda, incluindo as concordâncias verticais que suavizam a transição de inclinações longitudinais entre os três trainéis que definem a rasante.

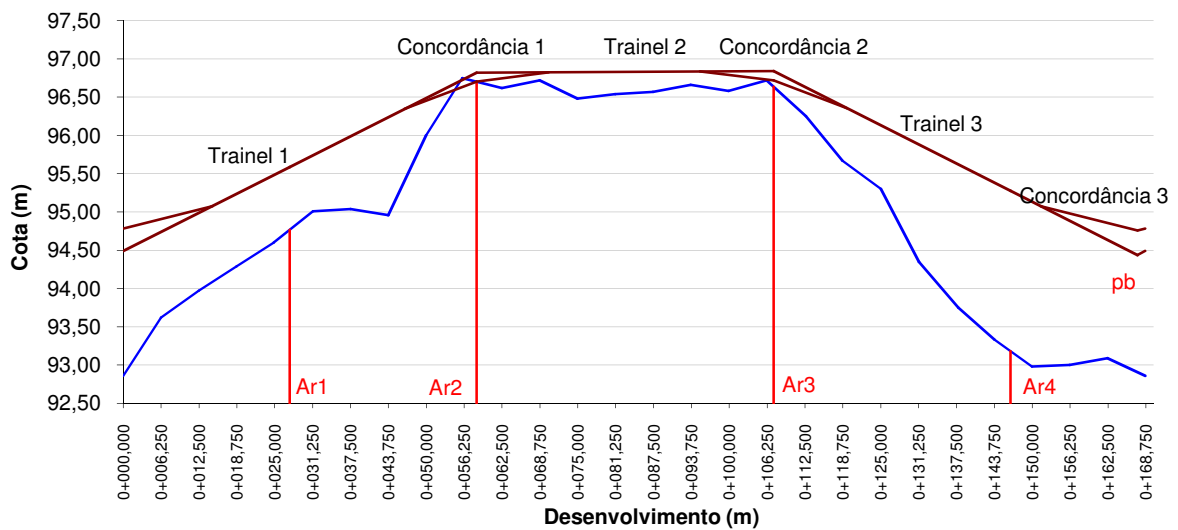


Fig.24 – Perfil longitudinal da rotunda, com a rasante e concordâncias verticais.

No quadro 17 apresentam-se as características das três concordâncias verticais entre os trainéis definidos. A partir do raio e das inclinações longitudinais dos trainéis anterior e posterior, com recurso à equação 22, determinou-se o desenvolvimento horizontal da concordância. Com os valores do raio e do desenvolvimento da concordância, com a equação 23, determinou-se o valor de h , correspondente à altura entre a cota do vértice de encontro dos trainéis e a cota do ponto médio na concordância. Todo este processo é iterativo, na medida que a inclinação longitudinal do trainel 2 está dependente do valor de h das concordâncias 1 e 3, e vice-versa.

Quadro 17 – Características das concordâncias verticais.

	Concord. 1	Concord. 2	Concord. 3
Raio (m)	600	600	-400
i_1	4,00%	0,04%	-4,00%
i_2	0,04%	-4,00%	4,00%
D (m)	23,769	24,231	32,000
D/2 (m)	11,885	12,115	16,000
h (m)	0,118	0,122	-0,320

No quadro 18 calcularam-se as cotas de rasante e do terreno para os vários pontos notáveis, bem como a inclinação longitudinal do trainel entre eles. Por tentativas, chegou-se ao valor de $i = 0,04\%$ para o trainel 2. O objectivo foi que, para os arruamentos 2 e 3, a diferença entre a cota da rasante e o valor de h , fosse igual ou superior à cota do terreno.

$$Z_{\text{rasante}} - h \geq Z_{\text{terreno}}$$

Quadro 18 – Cotas da rasante e do terreno dos pontos notáveis. Inclinação longitudinal dos trainéis.

Ponto A	
Z _{rasante} (m)	94,488
Z _{terreno} (m)	92,860
L (m)	0,000
i _{trainel}	4,00%
Ar1	
Z _{rasante} (m)	95,587
Z _{terreno} (m)	94,764
L (m)	27,454
i _{trainel}	4,00%
Ar2	
Z _{rasante} (m)	96,821
Z _{terreno} (m)	96,703
L (m)	58,316
i _{trainel}	0,04%
Ar3	
Z _{rasante} (m)	96,840
Z _{terreno} (m)	96,637
L (m)	107,315
i _{trainel}	-4,00%
Ar4	
Z _{rasante} (m)	95,276
Z _{terreno} (m)	93,181
L (m)	146,410
i _{trainel}	-4,00%
Ponto baixo	
Z _{rasante} (m)	94,438
L (m)	167,367

O ponto A corresponde ao km 0+000 da rotunda. Tem-se que:

$$Z_{\text{rasante}}(A) = Z_{\text{rasante}}(Ar2) - L_{AAr2} \cdot i_{\text{trainel1}}$$

$$Z_{\text{rasante}}(A) = 96,821 - 58,316 \cdot 4,00\% = 94,488m$$

Do mesmo modo, o arruamento 1 insere-se no trainel 1 e calcula-se

$$Z_{\text{rasante}}(Ar1) = Z_{\text{rasante}}(Ar2) - L_{Ar1Ar2} \cdot i_{\text{trainel1}}$$

$$Z_{\text{rasante}}(Ar1) = 96,821 - (58,316 - 27,454) \cdot 4,00\% = 95,587m$$

A cota da rasante na inserção do arruamento 2 obteve-se, como já se mencionou, somando à cota do terreno o valor de h obtido para o ponto médio da concordância. O processo para o arruamento 3 é idêntico.

$$Z_{\text{rasante}}(Ar2) = Z_{\text{terreno}}(Ar2) + h_{\text{concordância1}}$$

$$Z_{\text{rasante}}(Ar2) = 96,703 + 0,118 = 96,821m$$

$$Z_{\text{rasante}}(Ar3) = Z_{\text{terreno}}(Ar3) + h_{\text{concordância2}}$$

$$Z_{\text{rasante}}(Ar3) = 96,637 + 0,203 = 96,840m$$

Para o ponto de inserção do arruamento 4,

$$Z_{\text{rasante}}(Ar4) = Z_{\text{rasante}}(Ar3) - L_{Ar3Ar4} \cdot i_{\text{trainel3}}$$

$$Z_{\text{rasante}}(Ar4) = 96,840 - (146,410 - 107,315) \cdot 4,00\% = 95,276m$$

O desenvolvimento a que se encontra o ponto baixo da rotunda foi determinado por

$$L_{pb} = L_{Ar3} + \frac{Z_{\text{rasante}}(Ar3) - Z_{\text{rasante}}(Ar2) + i_{\text{trainel1}} \cdot (L_{Ar2} + (L_{\text{total}} - L_{Ar3}))}{2 \cdot i_{\text{trainel1}}}$$

$$L_{pb} = 107,315 + \frac{96,840 - 96,821 + 4,00\% \cdot (58,316 + (168,631 - 107,315))}{2 \cdot 4,00\%} = 167,367m$$

Salienta-se que $L_{\text{total}} = 168,631m$. Por fim, a cota da rasante para o ponto baixo da rotunda,

$$Z_{\text{rasante}}(pb) = Z_{\text{rasante}}(Ar3) - L_{Ar3pb} \cdot i_{\text{trainel3}}$$

$$Z_{\text{rasante}}(pb) = 96,840 - (167,367 - 107,315) \cdot 4,00\% = 94,438m$$

Apresentam-se no quadro 19 a cota da rasante e o desenvolvimento da rotunda para os pontos inicial (índice 1), médio (índice 3) e final (índice 2) de cada concordância. Foram utilizados os valores das

inclinações longitudinais e desenvolvimentos indicados no quadro 17, enquanto os valores L_3 e Z_3 foram retirados do quadro 18.

Quadro 19 – Cotas da rasante e desenvolvimento da rotunda para cada concordância.

	Concord. 1	Concord. 2	Concord. 3
Raio (m)	600	600	-400
L_1 (m)	46,431	95,200	151,367
L_3 (m)	58,316	107,315	167,367
L_2 (m)	70,200	119,431	14,736
Z_1 (m)	96,346	96,835	95,078
Z_3 (m)	96,703	96,718	94,758
Z_2 (m)	96,826	96,355	95,078

Os valores L_3 e Z_3 já eram conhecidos, e a partir daí,

$$L_1 = L_3 - \frac{D}{2}$$

$$L_2 = L_3 + \frac{D}{2}$$

E ainda,

$$Z_1 = Z_3 - i_1 \cdot \frac{D}{2}$$

$$Z_2 = Z_3 + i_2 \cdot \frac{D}{2}$$

Concretizando para o caso da concordância 3 que se encontra dividida entre a parte final e a parte inicial do perfil, tem-se que

$$L_1 = 167,367 - 16,000 = 151,367m$$

$$L_2 = 167,367 + 16,000 = 183,367m$$

Como $L_2 > L_{total}$, significa que

$$L_2 = 16,000 - (168,631 - 167,367) = 14,736m$$

Para as cotas da rasante,

$$Z_1 = 94,758 - (-4,00\%) \cdot 16,000 = 95,078m$$

$$Z_2 = 94,758 + 4,00\% \cdot 16,000 = 95,078m$$

Apresentam-se no quadro 20 as cotas dos vértices que permitem traçar a rasante da rotunda.

Quadro 20 – Cotas dos vértices da rasante da rotunda.

Km	Cota da rasante (m)
0+000,000	94,488
0+058,316	96,821
0+107,315	96,840
0+167,367	94,438
0+168,631	94,488

No quadro A7 em anexo encontram-se as cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, necessárias para a legenda do perfil longitudinal da rotunda.

A inclinação longitudinal da rotunda, para os pontos de inserção dos arruamentos, corresponde à inclinação transversal destes. Apresentam-se de seguida, no quadro 21, as inclinações longitudinais para estes quatro pontos, seguidas dos cálculos necessários. Como as concordâncias longitudinais foram efectuadas com parábolas, as inclinações para pontos que caem na parábola correspondem à derivada desta nesse ponto.

Quadro 21 – Cotas da rasante da rotunda.

Ponto	i
Ar1	-4,00%
Ar2	-2,02%
Ar3	1,98%
Ar4	4,00%

A equação geral de uma parábola é a equação 24. A variável i representa a inclinação do trainel anterior, x representa a projecção da distância à origem da parábola e R o raio da parábola.

$$y = i \cdot x - \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad (24)$$

Derivando em ordem a x , obtém-se o declive da tangente em cada ponto (equação 25).

$$y' = i - \frac{x}{R} \quad (25)$$

Tem-se, para o arruamento 2,

$$y' = 4,00\% - \frac{23,769}{600,000} = 2,02\%$$

E, no caso do arruamento 3,

$$y' = 0,04\% - \frac{24,231}{600,000} = -1,98\%$$

A sobrelevação máxima para uma rotunda é, em valor absoluto, 2,50%. A extensão abrangida pela sobrelevação não deve exceder 5,00% em cada 20 metros.

A sobrelevação da rotunda corresponde, para os pontos de inserção dos arruamentos, à inclinação longitudinal destes. Define-se o sentido dos km crescentes, no caso dos arruamentos, como o sentido de aproximação à rotunda. Sabendo que, no sentido dos km crescentes, o traçado dos arruamentos 2 e 3 é em declive e o traçado do arruamento 4 em rampa, definiu-se para os pontos de inserção na rotunda uma sobrelevação máxima de -2,50% para os dois primeiros e 2,50% para o último. No caso do arruamento 1, em declive, a sobrelevação da rotunda no ponto de inserção é a correspondente à variação homogénea entre os pontos de inserção dos arruamentos 4 e 2.

Apresentam-se estes resultados no quadro 22. A coluna da cota da rasante, embora esta não seja necessária para a determinação destes valores, entra na definição do perfil longitudinal de cada arruamento, correspondendo à cota de inserção de cada um na rotunda. A coluna Se corresponde à sobrelevação no ponto. Estes valores são necessários para preencher a legenda do diagrama de sobrelevações do perfil longitudinal. A coluna ΔSe corresponde à variação de sobrelevação em cada 20 metros, variável para a qual se definiu um valor máximo.

Quadro 22 – Cotas da rasante da rotunda.

Ponto	Km	Cota da rasante (m)	Se	ΔSe
Início	0+000,000	94,488	1,12%	-1,24%
Ar1	0+027,454	95,587	-0,58%	-1,24%
Ar2	0+058,316	96,821	-2,50%	-1,24%
Ar3	0+107,315	96,840	-2,50%	0,00%
Ar4	0+146,410	95,276	2,50%	2,56%
Final	0+168,631	94,488	1,12%	-1,24%

Sendo L o desenvolvimento para cada ponto, correspondendo à coluna km do quadro, chegou-se, para o ponto inicial da rotunda, ao valor da sobrelevação com a expressão

$$Se_{Início} = Se_{Ar4} + \frac{Se_{Ar2} - Se_{Ar4}}{(L_{Final} - L_{Ar4}) + L_{Ar2}} \cdot (L_{Final} - L_{Ar4})$$

$$Se_{Início} = 2,50\% + \frac{-2,50\% - 2,50\%}{(168,631 - 146,410) + 58,316} \cdot (168,631 - 146,410) = 1,12\%$$

Do mesmo modo, para o ponto de inserção do arruamento 1,

$$Se_{Ar1} = Se_{Ar4} + \frac{Se_{Ar2} - Se_{Ar4}}{(L_{Final} - L_{Ar4}) + L_{Ar2}} \cdot ((L_{Final} - L_{Ar4}) + L_{Ar1})$$

$$Se_{Ar1} = 2,50\% + \frac{-2,50\% - 2,50\%}{(168,631 - 146,410) + 58,316} \cdot ((168,631 - 146,410) + 27,454) = -0,58\%$$

A variação da sobrelevação determinou-se com a expressão seguinte, onde Se corresponde à sobrelevação no ponto em questão, e $Se_{anterior}$ à sobrelevação no ponto anterior.

$$\Delta Se = 20,000 \cdot \frac{Se - Se_{anterior}}{L - L_{anterior}}$$

O gráfico da figura 25 mostra a forma de variação da sobreelevação ao longo da rotunda.

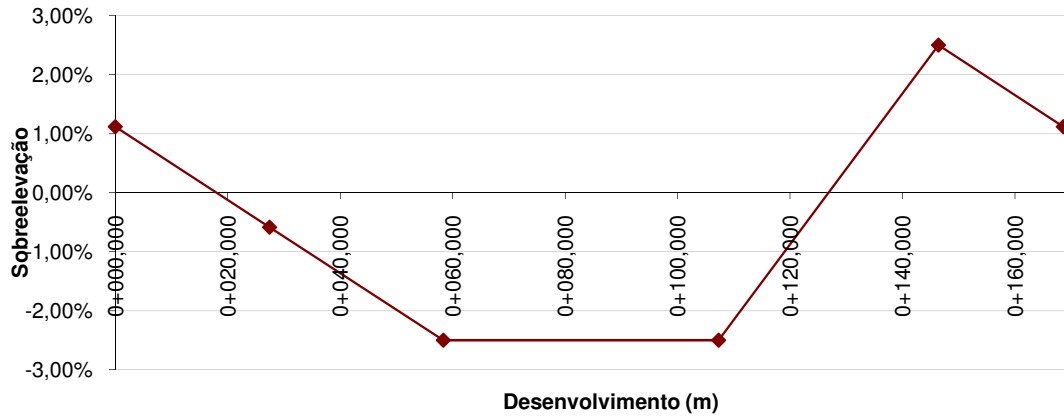


Fig.25 – Sobreelevação ao longo da rotunda.

4.2.2. ARRUAAMENTO 1

Começou-se por retirar-se as cotas do terreno, correspondentes ao arruamento existente, criando um perfil do terreno com os km crescentes no sentido de aproximação à rotunda. Construiu-se o perfil a partir do seu final, o ponto I₁ na inserção na rotunda. Tem-se como condicionante a inclinação longitudinal do trainel de inserção na rotunda, igual à sobreelevação da rotunda nesse mesmo ponto. No quadro 23 observam-se as cotas do terreno, bem como a inclinação longitudinal entre cada ponto.

Quadro 23 – Cotas do terreno para o arruamento 1.

L (m)	Z _{terreno} (m)	i _{terreno}
0,00	98,50	
24,80	97,30	-4,84%
40,00	96,50	-5,26%
64,00	95,40	-4,58%
80,80	94,76	-3,78%
98,40	94,76	-1,85%

A inclinação longitudinal do terreno apresentada na última coluna não é mais do que a razão entre a diferença de cotas e a distância, entre o ponto em questão e o anterior.

$$i_{terreno} = \frac{Z_2 - Z_1}{l_2 - l_1}$$

Apresentam-se no quadro 24 os cálculos para a definição da rasante, seguindo-se a respectiva justificação.

Quadro 24 – Definição da rasante, arruamento 1.

Trainel	
i_{trainel}	-0,58%
$L \text{ (m)}$	40,000
$L_{\text{início}} \text{ (m)}$	58,400
Concordância	
$R \text{ (m)}$	-200
i_1	-4,58%
i_2	-0,58%
Desenv.	7,999
$L_{\text{início}} \text{ (m)}$	50,401
$h \text{ (m)}$	-0,040

A rasante foi construída a partir do ponto de inserção na rotunda, lançando-se um trainel a partir desse ponto. A inclinação do trainel corresponde à sobreelevação na rotunda, para o mesmo ponto. A concordância vertical do trainel com o perfil do terreno do arruamento existente foi feita com uma parábola côncava, de raio 200m. O comprimento do trainel foi definido por tentativas, até atingir o arruamento existente, chegando-se ao valor de 40,000m, que corresponde ao desenvolvimento de 58,400m no perfil longitudinal do terreno, ponto de início do trainel.

$$L_{\text{início}} = L_{\text{final}} - L = 98,400 - 40,000 = 58,400\text{m}$$

Analisando as cotas do terreno observa-se que, para o ponto em que o trainel atinge este, a inclinação longitudinal do terreno é de -4,58%. Logo, a partir da equação 22, determinou-se o desenvolvimento da concordância.

$$D = R \cdot (i_1 - i_2) = -200 \cdot (-4,58\% + 0,58\%) = 7,999\text{m}$$

Tem-se, para o ponto inicial da concordância,

$$L_{\text{início}} = L_{\text{início trainel}} - D = 58,400 - 7,999 = 50,401\text{m}$$

Sabe-se que a alteração ao perfil do arruamento existente termina quando se atinge o ponto em que a cota da nova rasante iguala a cota do terreno.

A altura entre o vértice da rasante e o ponto médio da concordância, representada por h , determinou-se com recurso à equação 23.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} = \frac{(7,999)^2}{8 \cdot (-200)} = -0,040\text{m}$$

Apresentam-se no quadro 25 os pontos necessários para traçar a rasante, seguindo-se a explicação dos cálculos.

Quadro 25 – Definição da rasante, arruamento 1.

L (m)	Z _{rasante} (m)	Ponto
50,40	96,03	Início concordância
54,40	95,84	Vértice
58,40	95,82	Final concordância / Início rampa
98,40	95,59	Final rampa / rotunda

A cota no final da rampa corresponde à cota da rasante da rotunda aquando a inserção do arruamento. A partir desse ponto determinou-se a cota do início da rampa.

$$Z_{\text{início rampa}} = Z_{\text{final}} - i \cdot L_{\text{trainel}} = 95,59 - 0,58\% \cdot 40,000 = 95,82m$$

O vértice da rasante encontra-se a meio da concordância, e determinou-se a partir do ponto anterior, final da concordância.

$$Z_{\text{vértice}} = Z_{\text{final concordância}} - i_2 \cdot \frac{D}{2} = 95,84 - 0,58\% \cdot 4,000 = 95,84m$$

A cota do ponto inicial da concordância, coincidente com a cota do terreno, foi determinada a partir do vértice.

$$Z_{\text{início concordância}} = Z_{\text{vértice}} - i_1 \cdot \frac{D}{2} = 95,84 - 4,58\% \cdot 4,000 = 96,03m$$

Na figura 26 apresenta-se um gráfico esquemático do perfil longitudinal provisório que apenas serve para acompanhar a sua determinação. Este gráfico não se encontra à escala.

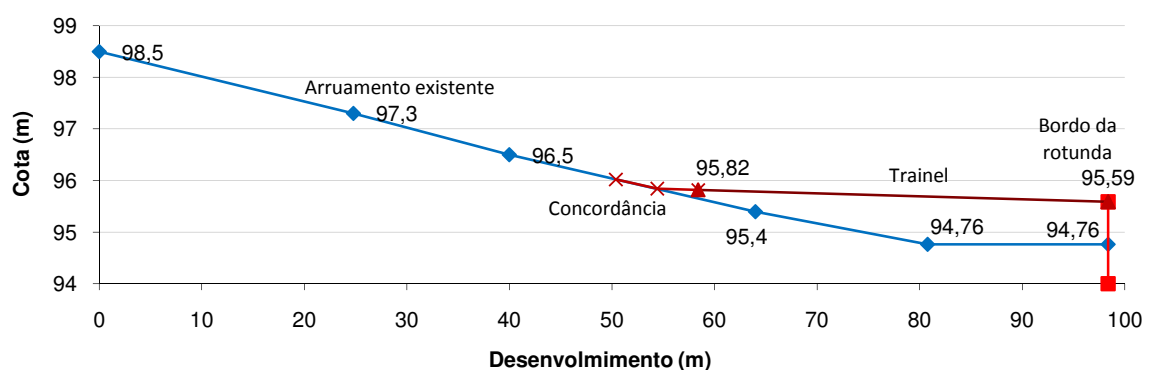


Fig.26 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 1.

O perfil longitudinal inicia-se no ponto a sofrer alterações mais afastado da rotunda, definindo assim o limite da zona de intervenção no arruamento, considerando a rasante ou a directriz. No caso do arruamento 1, é condicionado pela rasante, logo esta começa no ponto inicial da concordância. Este é o ponto O_1 apresentado na planta do arruamento (Fig.13). Corrigiram-se as distâncias à origem do perfil, de modo ao km 0+000 coincidir com este ponto.

No quadro 26 apresentam-se os pontos necessários para o traçado do perfil longitudinal definitivo, eliminado o troço de arruamento anterior à concordância. Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal à escala, bem como o quadro A8 com as cotas do terreno e rasante a cada 6,25m, necessário para preencher a legenda do perfil.

Quadro 26 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 1.

Km	Z_{terreno} (m)
0+000,000	96,023
0+013,599	95,400
0+047,999	94,764

Km	Z_{rasante} (m)
0+000,000	96,027
0+003,999	95,843
0+007,999	95,820
0+047,999	95,587

Passando à definição da sobrelevação, existem duas condicionantes no arruamento: os ponto inicial e o final do perfil longitudinal. O traçado do diagrama de sobrelevações inicia-se com o valor para o arruamento existente no ponto em que se inicia o perfil longitudinal. Medindo na planta as cotas do terreno, chegou-se à sobrelevação $Se^{\text{ESQ}} = 0,58\%$ / $Se^{\text{DIR}} = -0,58\%$. No final do perfil a sobrelevação será de 4,00%, correspondente à inclinação longitudinal do trainel da rotunda no ponto de inserção do arruamento.

Apresenta-se no quadro 27 a sobrelevação ao longo da rasante. A quarta e quinta colunas correspondem à variação da sobrelevação entre o ponto anterior e o ponto em questão, para um intervalo de 20m. Definiu-se uma sobrelevação máxima em curva circular de 2,50%. A variação de sobrelevação máxima permitida é de 5,00% em 20,000m.

Quadro 27 – Sobrelevação ao longo da rasante do arruamento 1.

L (m)	Se_{ESQ}	Se_{DIR}	ΔSe_{ESQ}	ΔSe_{DIR}
0,000	0,58%	-0,58%		
7,680	2,50%	-2,50%	5,00%	-5,00%
10,908	2,50%	-2,50%	0,00%	0,00%
20,908	0,00%	0,00%	-5,00%	5,00%
30,908	-2,50%	2,50%	-5,00%	5,00%
41,999	-2,50%	2,50%	0,00%	0,00%
47,999	-4,00%	4,00%	-5,00%	5,00%

Neste arruamento a sobreelevação das vias esquerda e direita são simétricas, logo só se refere o cálculo para a primeira. O perfil longitudinal inicia-se em curva circular para a direita. Logo, aumentou-se a sobreelevação da via até atingir o máximo de 2,50% no extradorso. Determinou-se o comprimento necessário para o disfarce.

$$L = L_0 + (Se - Se_0) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 0 + (2,50\% - 0,58\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 7,680m$$

A directriz passa para curva circular à esquerda. No ponto de osculação entre as duas curvas, a sobreelevação é nula. Sendo necessários 10m para permitir uma variação de 2,50%, obteve-se o ponto onde se inicia o disfarce.

$$L = 20,908 - 10,000 = 10,908m$$

Do mesmo modo, são necessários 10m para atingir uma sobreelevação de -2,50% após o ponto de osculação.

$$L = 20,908 + 10,000 = 30,908m$$

O perfil longitudinal termina com uma sobreelevação de -4,00%, logo determinou-se o ponto onde a sobreelevação deixa de ser constante e inicia o disfarce até atingir o valor pretendido.

$$L = L_{final} - (Se - Se_{final}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 47,999 - (-2,50\% + 4,00\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 41,999m$$

Apresentam-se no quadro A9 em anexo os pontos notáveis para o diagrama de sobreelevações no sentido dos km crescentes.

4.2.3. ARRUAMENTO 2

A obtenção do perfil longitudinal é idêntica à do arruamento 1. A partir das cotas do terreno, criou-se um perfil com os km crescentes no sentido de aproximação à rotunda. Construiu-se o perfil a partir do seu ponto final I₂, o ponto de inserção do arruamento na rotunda. A inclinação longitudinal do trainel final será igual à sobreelevação da rotunda no ponto I₂. No quadro 28 observam-se as cotas do terreno ao longo do arruamento e a inclinação longitudinal entre os pontos. A inclinação foi determinada de forma igual ao arruamento anterior.

Quadro 28 – Cotas do terreno para o arruamento 2.

L (m)	Z _{terreno} (m)	i _{terreno}
0,00	101,20	
8,00	100,40	-9,94%
26,00	99,72	-3,76%
37,50	98,74	-8,55%
43,50	98,72	-0,30%
46,84	98,60	-3,66%
65,34	98,20	-2,16%
75,88	97,51	-6,54%
85,88	97,47	-0,42%
96,30	96,70	-7,35%

No quadro 29 apresentam-se os cálculos para a definição da rasante, seguindo-se a respectiva justificação.

Quadro 29 – Definição da rasante, arruamento 2.

Concordância 2	
R (m)	-400
i ₁	-3,74%
i ₂	-2,50%
Desenv.	4,960
L _{início} (m)	91,336
h (m)	-0,008
Trainel	
i _{trainel}	-3,74%
L (m)	66,000
L _{início} (m)	25,336
Concordância 1	
R (m)	-400
i ₁	-9,94%
i ₂	-3,74%
Desenv.	24,790
L _{início} (m)	0,546
h (m)	-0,192

Iniciou-se a construção da rasante a partir do ponto de inserção na rotunda, no sentido dos km decrescentes. Ao contrário do arruamento 1, não foi possível lançar imediatamente um trainel com inclinação igual à sobreelevação da rotunda. Devido ao declive do relevo, foi necessário introduzir imediatamente uma concordância e iniciar um trainel com uma inclinação superior à que sai da rotunda, sob pena de entrar-se numa situação de escavação dispendiosa.

Assim, efectuou-se uma concordância em parábola côncava com raio -400m, fazendo a compatibilização entre a inclinação de -2,50% de inserção na rotunda e um trainel em declive que acompanha sensivelmente o perfil do terreno, alternando entre pequenas situações de aterro e escavação. Após o trainel inseriu-se uma nova concordância côncava de raio -400, idêntica à primeira, que levará a rasante ao perfil do arruamento existente, num troço de declive bastante elevado.

De modo a acompanhar o declive médio do terreno, fixou-se uma inclinação de -3,74% para o trainel compreendido entre as concordâncias. Obteve-se assim o desenvolvimento da primeira concordância, a partir da equação 22.

$$D = R \cdot (i_1 - i_2) = -400 \cdot (-3,74\% + 2,50\%) = 4,960m$$

Tem-se, para o ponto inicial da concordância,

$$L_{início} = L_{final\ perfil} - D = 96,300 - 4,960 = 91,336m$$

A altura entre o vértice da rasante e o ponto médio da concordância, representada por h , determina-se com recurso à equação 23.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} = \frac{(4,960)^2}{8 \cdot (-400)} = -0,008m$$

O desenvolvimento do trainel foi obtido por tentativas, chegando ao valor 66,000m, chegando-se ao ponto inicial do trainel.

$$L_{início\ tarinel} = L_{início\ concordância} - L_{trainel} = 91,2336 - 66,000 = 25,336m$$

Neste ponto inicia-se a segunda concordância, que compatibiliza a inclinação de -3,74% do trainel com a inclinação de -9,94% do arruamento existente. Obteve-se o desenvolvimento a partir da equação 22.

$$D = R \cdot (i_1 - i_2) = -400 \cdot (-9,94\% + 3,74\%) = 24,790m$$

Determinou-se o ponto inicial da concordância.

$$L_{início} = L_{início\ tarinel} - D = 25,336 - 24,790 = 0,546m$$

A altura entre o vértice da rasante e o ponto médio da concordância, representada por h , determina-se com recurso à equação 23.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} = \frac{(24,790)^2}{8 \cdot (-400)} = -0,192m$$

Apresentam-se no quadro 30 os pontos necessários para traçar a rasante, seguindo-se uma explicação dos cálculos.

Quadro 30 – Definição da rasante, arruamento 2.

L (m)	Z _{rasante} (m)	Ponto
0,55	101,14	Início concordância 1
12,94	99,91	Vértice
25,34	99,44	Final concordância 1 / Início declive
91,34	96,98	Final declive / Início concordância 2
93,82	96,88	Vértice
96,30	96,82	Final concordância 2 / Rotunda

A cota no final da concordância 2 corresponde à cota da rasante da rotunda nesse mesmo ponto. Calculou-se a cota do vértice da rasante, correspondente ao ponto médio da concordância 2.

$$Z_{\text{vértice}} = Z_{\text{final concordância}} - i_2 \cdot \frac{D}{2} = 96,82 + 2,50\% \cdot \frac{4,960}{2} = 96,88m$$

Seguiu-se o cálculo da cota do ponto inicial da concordância 2, coincidente com o ponto final do declive.

$$Z_{\text{início concordância}} = Z_{\text{vértice}} - i_1 \cdot \frac{D}{2} = 96,88 + 3,74\% \cdot \frac{4,960}{2} = 96,98m$$

Determinou-se a cota do ponto final da concordância 1, coincidente com o ponto inicial do declive.

$$Z_{\text{final concordância}} = Z_{\text{final declive}} - i \cdot L_{\text{trainel}} = 96,98 + 3,74\% \cdot 66,000 = 99,44m$$

Calculou-se a cota do vértice da rasante, correspondente ao ponto médio da concordância 1.

$$Z_{\text{vértice}} = Z_{\text{final concordância}} - i_2 \cdot \frac{D}{2} = 99,44 + 3,74\% \cdot \frac{24,790}{2} = 99,91m$$

A cota do ponto inicial da concordância 1, coincidente com a cota do terreno, foi determinada a partir do vértice.

$$Z_{\text{início concordância}} = Z_{\text{vértice}} - i_1 \cdot \frac{D}{2} = 99,91 + 9,94\% \cdot \frac{24,790}{2} = 101,14m$$

Na figura 27 apresenta-se um gráfico esquemático que acompanha a determinação do perfil longitudinal provisório. Este gráfico não se encontra à escala.

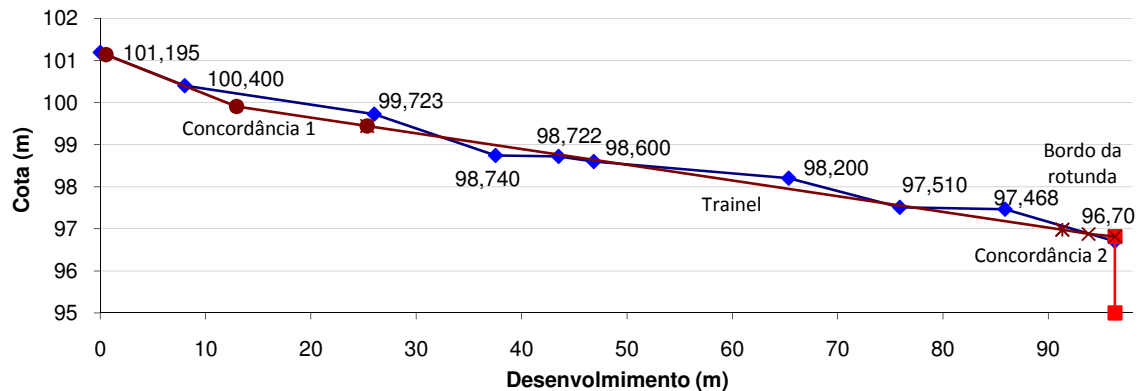


Fig.27 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 2.

O perfil longitudinal inicia-se no ponto a sofrer alterações mais afastado da rotunda, considerando a rasante ou a directriz. No caso do arruamento 2, tanto a directriz com o a rasante foram refeitas, logo o perfil inicia-se no ponto inicial da concordância 1. Este é o ponto O_2 apresentado na planta do arruamento (Fig.14). Corrigiram-se as distâncias à origem do perfil, de modo ao km 0+000 coincidir com este ponto, chegando-se ao perfil longitudinal definitivo.

No quadro 31 apresentam-se os pontos necessários para o traçado do perfil longitudinal definitivo. Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal à escala, bem como o quadro A10 com as cotas do terreno e rasante a cada 6,25m, necessário para preencher a legenda do perfil.

Quadro 31 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 2.

Km	Z_{terreno} (m)
0+000,000	101,195
0+008,000	100,400
0+026,000	99,723
0+037,500	98,740
0+046,836	98,600
0+065,336	98,200
0+075,881	97,510
0+085,881	97,468
0+096,296	96,703

Km	Z _{rasante} (m)
0+000,000	101,195
0+000,546	101,139
0+012,941	99,908
0+025,336	99,444
0+091,336	96,976
0+093,816	96,883
0+096,296	96,821

Passando à definição da sobreelevação, tal como no arruamento 1 existem duas condicionantes no arruamento: o ponto inicial e o final do perfil longitudinal. O traçado do diagrama de sobreelevações inicia-se com o valor para o arruamento existente no ponto em que se inicia o perfil longitudinal. Chegou-se à sobreelevação 0,89% / -0,89% para o ponto O₂ inicial do arruamento. No final do perfil a sobreelevação será de -2,02% / 2,02%, correspondente à inclinação longitudinal do trainel da rotunda no ponto I₃ de inserção do arruamento. Apresenta-se no quadro 32 a sobreelevação ao longo da rasante. Definiu-se uma sobreelevação máxima em curva circular de 2,50%. A variação de sobreelevação máxima permitida é de 5% em 20m.

Quadro 32 – Sobreelevação ao longo da rasante do arruamento 2.

L (m)	Se _{ESQ}	Se _{DIR}	ΔSe _{ESQ}	ΔSe _{DIR}
0,000	0,89%	-0,89%		
13,560	-2,50%	2,50%	-5,00%	5,00%
36,836	-2,50%	2,50%	0,00%	0,00%
46,836	0,00%	0,00%	5,00%	-5,00%
56,836	2,50%	-2,50%	5,00%	-5,00%
78,846	2,50%	-2,50%	0,00%	0,00%
96,926	-2,02%	2,02%	-5,00%	5,00%

A sobreelevação das vias esquerda e direita são simétricas, logo só é referido o cálculo para a primeira. O perfil longitudinal inicia-se em curva circular para a esquerda. Logo, aumentou-se a sobreelevação da via até atingir o máximo de -2,5% no intradorso. Determinou-se o comprimento necessário para o disfarce.

$$L = L_0 + (Se_0 - Se) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 0,000 + (0,89\% + 2,50\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 13,560m$$

No ponto de osculação onde a directriz passa a curva circular para a direita, a sobreelevação é nula. Calculou-se o ponto onde se inicia a transição de -2,50% até 0,00%, sabendo-se que são necessários 10,000m para permitir um disfarce de 2,50%.

$$L = L_1 - 10,000 = 46,836 - 10,000 = 36,836m$$

Entrando em curva circular à direita, aumentou-se a sobreelevação do extradorso para 2,50%, sendo necessários 10,000m para permitir o disfarce.

$$L = L_0 + 10,000 = 46,836 + 10,000 = 56,836m$$

Terminando o perfil com uma sobrelevação de -2,02%, igual à inclinação longitudinal da rotunda nesse ponto, determinou-se o ponto onde o disfarce a partir dos 2,50%

$$L = L_1 - (Se - Se_1) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 96,926 - (2,50\% + 2,02\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 78,846m$$

Apresentam-se no quadro A11 em anexo os pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações no sentido dos km crescentes.

4.2.4. ARRUAMENTO 3

Criou-se um perfil com os km crescentes no sentido de aproximação à rotunda. Construiu-se o perfil a partir do seu ponto final I₃, o ponto de inserção do arruamento na rotunda. A inclinação longitudinal do trainel final será igual à sobrelevação da rotunda no ponto I₃. No quadro 33 observam-se as cotas do terreno ao longo do arruamento e a inclinação longitudinal entre os pontos.

Quadro 33 – Cotas do terreno para o arruamento 3.

L (m)	Z _{terreno} (m)	i _{terreno}
0,00	100,70	-12,84%
16,00	99,10	-10,00%
35,20	96,80	-11,98%
39,20	96,64	-4,08%

No quadro 34 apresentam-se os cálculos para a definição da rasante, seguindo-se a respectiva justificação.

Quadro 34 – Definição da rasante, arruamento 3.

Concordância	
R (m)	-116
i ₁	-11,98%
i ₂	-2,50%
Desenv.	10,996
L _{início} (m)	28,204
h (m)	-0,130

Iniciou-se a construção da rasante a partir do ponto de inserção na rotunda, no sentido dos km decrescentes. Devido ao declive acentuado do relevo, foi necessário introduzir imediatamente uma concordância que compatibilizasse dois trainéis de modo a acompanhar a inclinação do terreno. Esta inclinação é superior à de saída da rotunda, bastante acentuada e constante até ao início do perfil.

Assim, efectuou-se uma concordância em parábola côncava com raio -116m, um valor baixo mas necessário, fazendo a compatibilização entre a inclinação de -2,50% de inserção na rotunda e os -11,98% do arruamento existente.

Obteve-se o desenvolvimento da concordância, a partir da equação 22.

$$D = R \cdot (i_1 - i_2) = -116 \cdot (-11,98\% + 2,50\%) = 10,996m$$

Tem-se, para o ponto inicial da concordância,

$$L_{início} = L_{final\ perfil} - D = 39,200 - 10,996 = 28,204m$$

A altura entre o vértice da rasante e o ponto médio da concordância, representada por h , determina-se com recurso à equação 23.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} = \frac{(10,996)^2}{8 \cdot (-116)} = -0,130m$$

Apresentam-se no quadro 35 os pontos necessários para traçar a rasante, seguindo-se o respectivo cálculo.

Quadro 35 – Definição da rasante, arruamento 3.

L (m)	Z _{rasante} (m)	Ponto
28,20	97,64	Início concordância
33,70	96,98	Vértice
39,20	96,84	Final concordância / Rotunda

A cota no final da concordância corresponde à cota da rasante da rotunda nesse mesmo ponto. Calculou-se a cota do vértice da rasante, correspondente ao ponto médio da concordância.

$$Z_{vértice} = Z_{final\ concordância} - i_2 \cdot \frac{D}{2} = 96,84 + 2,50\% \cdot \frac{10,996}{2} = 96,98m$$

Por fim, o cálculo da cota do ponto inicial da concordância, coincidente com a cota do terreno.

$$Z_{início\ concordância} = Z_{vértice} - i_1 \cdot \frac{D}{2} = 96,98 + 11,98\% \cdot \frac{10,996}{2} = 97,64m$$

Na figura 28 apresenta-se um gráfico esquemático que acompanha a determinação do perfil longitudinal provisório. Este gráfico não se encontra à escala.

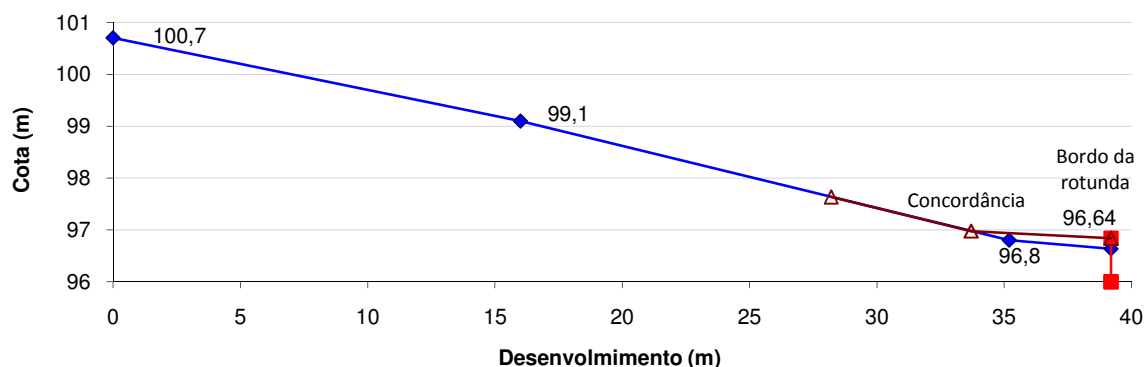


Fig.28 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 3.

O perfil longitudinal inicia-se no ponto a sofrer alterações mais afastado da rotunda, considerando a rasante ou a directriz. Neste caso, é condicionado pela directriz, devido a todas as alterações necessárias em planta para retomar o separador central, existente no arruamento. Este é o ponto O₃ apresentado na planta do arruamento (Fig.15). Corrigiram-se as distâncias à origem do perfil, de modo ao km 0+000 coincidir com este ponto.

No quadro 36 apresentam-se os pontos necessários para o traçado do perfil longitudinal definitivo. Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal à escala, bem como o quadro A12 com as cotas do terreno e rasante a cada 6,25m, necessário para preencher a legenda do perfil.

Quadro 36 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 3.

Km	Z _{terreno} (m)
0+000,000	101,586
0+006,897	100,700
0+022,897	99,100
0+042,097	96,800
0+046,097	96,637

Km	Z _{rasante} (m)
0+000,000	101,586
0+035,102	97,636
0+040,599	96,977
0+046,097	96,840

Definiu-se de seguida a sobreelevação. O traçado do diagrama de sobreelevações inicia-se com o valor existente no arruamento, no ponto em que se inicia o perfil longitudinal. Chegou-se à sobreelevação 0,50% / -0,50% para o ponto O₃ inicial do arruamento. No final do perfil a sobreelevação será de 1,98% / -1,98%, correspondente à inclinação longitudinal do trainel da rotunda no ponto de inserção do arruamento. Apresenta-se no quadro 37 a sobreelevação ao longo da rasante. Definiu-se uma

sobreelevação máxima em curva circular de 2,50%. A variação de sobrelevação máxima permitida é de 5% em 20m.

Quadro 37 – Sobrelevação ao longo da rasante do arruamento 3.

L (m)	Se _{ESQ}	Se _{DIR}	ΔSe _{ESQ}	ΔSe _{DIR}
0,000	-0,50%	0,50%		
6,676	-2,17%	-1,17%	-5,00%	-5,00%
12,000	-0,84%	-2,50%	5,00%	-5,00%
15,352	0,00%	-2,50%	5,00%	0,00%
25,352	2,50%	-2,50%	5,00%	0,00%
44,017	2,50%	-2,50%	0,00%	0,00%
46,097	1,98%	-1,98%	-5,00%	5,00%

O perfil longitudinal inicia-se em recta, onde a sobrelevação das vias da esquerda e direita não são simétricas, passando depois a curva circular, com sobrelevação simétrica nas duas vias, para fazer a inserção na rotunda. O início da curva circular dá-se a uma distância de 25,353m da origem, e nesse ponto a sobrelevação será de 2,50% / -2,50% nas vias esquerda e direita, respectivamente. Procurou-se que em recta se atingisse a sobrelevação de -2,50% / -2,50%.

Tratando cada uma das vias separadamente, a partir do ponto final da directriz em alinhamento recto, recuou-se no perfil, mantendo a sobrelevação da via direita constante em -2,50%, até ao ponto em que inicia o disfarce máximo permitido, 5% em cada 20,000 metros, até atingir no início do perfil a respectiva sobrelevação. Determinou-se a distância à origem desse ponto de início do disfarce.

$$L = L_0 + (Se_0^{DIR} - Se^{DIR}) \cdot \frac{20}{5\%} = 0,000 + (0,50\% + 2,50\%) \cdot \frac{20}{5\%} = 12,000m$$

Do mesmo modo para a via da esquerda, a partir do ponto de osculação da directriz em alinhamento recto com a curva circular, recuou-se no perfil, reduzindo a sobrelevação da via com o disfarce máximo permitido, 5,00% em cada 20,000 metros, tentando atingir uma sobrelevação de -2,50%, e a partir daí voltando a diminuir até a origem.

$$L = \frac{L_1 - (Se_1^{ESQ} - Se_{origem}^{ESQ}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%}}{2} = \frac{25,352 - (2,50\% + 0,50\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%}}{2} = 6,676m$$

Sendo a sobrelevação nesse ponto,

$$Se^{ESQ} = Se_1^{ESQ} - (L_1 - L) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 2,50\% - (25,352 - 6,676) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 2,17\%$$

Já tendo as sobrelevações máximas e distâncias à origem, determinaram-se os restantes valores para completar o diagrama no troço em alinhamento recto. Determinou-se a sobrelevação da via direita para ponto que dista 6,676 metros da origem.

$$Se^{DIR} = Se_0^{DIR} - (L - L_0) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 0,50\% + (6,676 - 0,000) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 2,17\%$$

Determinou-se a sobrelevação da via esquerda para ponto que dista 12,000 metros da origem.

$$Se^{ESQ} = Se_1^{DIR} - (L - L_1) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 2,50\% - (25,352 - 12,000) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = -0,84\%$$

Faltou determinar o ponto onde a via da esquerda passa por sobrelevação nula, e ao mesmo tempo a via da direita tem sobrelevação constante de -2,50%.

$$L = L_1 - (Se_1^{ESQ} - Se^{ESQ}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 25,352 - (2,50\% - 0,00\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 15,352m$$

Passou-se ao cálculo da sobrelevação quando a directriz se encontra em curva circular à direita. A sobrelevação das duas vias é simétrica, determinando-se apenas para a via esquerda. No ponto de osculação do alinhamento recto com a curva circular a sobrelevação é de 2,50% no extradorso, mantendo-se constante até ao ponto onde começa a reduzir até atingir a sobrelevação de 1,98% na inserção na rotunda. Determinou-se o ponto onde se inicia essa redução.

$$L = L_1 - (Se^{ESQ} - Se_{final\ perfil}^{ESQ}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 46,077 - (2,50\% - 1,98\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 44,017m$$

Apresentam-se no quadro A13 em anexo os pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações no sentido dos km crescentes.

4.2.5. ARRUAMENTO 4

Construiu-se o perfil a partir do seu ponto final L_4 , o ponto de inserção do arruamento na rotunda. A inclinação longitudinal do trainel final será igual à sobrelevação da rotunda no ponto L_4 . No quadro 38 observam-se as cotas do terreno ao longo do arruamento e a inclinação longitudinal entre os pontos.

Quadro 38 – Cotas do terreno para o arruamento 4.

L (m)	Z _{terreno} (m)	i _{terreno}
0,00	86,20	
21,60	87,10	4,17%
55,20	88,40	3,87%
75,20	89,10	3,50%
96,00	90,10	4,81%
118,40	91,40	5,80%
138,40	93,18	8,90%

No quadro 39 apresentam-se os cálculos para a definição da rasante, seguindo-se a respectiva justificação.

Quadro 39 – Definição da rasante, arruamento 4.

Concordância 2	
R (m)	300
i_1	8,00%
i_2	2,50%
Desenv.	16,500
$L_{início}$ (m)	121,900
h (m)	0,113
Trainel	
$i_{trainel}$	8,00%
L (m)	80,000
$L_{início}$ (m)	41,900
Concordância 1	
R (m)	-200
i_1	5,80%
i_2	8,00%
Desenv.	4,393
$L_{início}$ (m)	37,507
h (m)	-0,012

Iniciou-se a construção da rasante a partir do ponto de inserção na rotunda, no sentido dos km 0+000 decrescentes. Esta inserção acontece em aterro, logo efectuou-se uma concordância em parábola convexa com raio -300m, fazendo a compatibilização entre a inclinação longitudinal de 2,50% de inserção na rotunda e um trainel em rampa que liga o perfil do terreno do arruamento existente à cota necessária de entrada na rotunda. Definiu-se para essa rampa uma inclinação longitudinal de 8,00%. Calculou-se o desenvolvimento da concordância, a partir da equação 22.

$$D = R \cdot (i_1 - i_2) = 300 \cdot (8,0\% - 2,50\%) = 16,500m$$

Tem-se, para o ponto inicial da concordância,

$$L_{início} = L_{final\ perfil} - D = 138,400 - 16,500 = 121,900m$$

A altura entre o vértice da rasante e o ponto médio da concordância, representada por h , determina-se com recurso à equação 23.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} = \frac{(16,500)^2}{8 \cdot (-300)} = 0,113m$$

O desenvolvimento do trainel foi obtido por tentativas, chegando ao valor 80,000m. Determinou-se o ponto inicial do trainel.

$$L_{\text{início tarinel}} = L_{\text{início concordância}} - L_{\text{trainel}} = 121,900 - 80,000 = 41,900m$$

Neste ponto termina a primeira concordância, côncava, de raio -200m, que compatibiliza a inclinação de 5,80% do arruamento existente com a inclinação de 8,00% do trainel. Obteve-se o desenvolvimento a partir da equação 22.

$$D = R \cdot (i_1 - i_2) = -200 \cdot (-5,80\% + 8,00\%) = 4,393m$$

Determinou-se o ponto inicial da concordância.

$$L_{\text{início}} = L_{\text{início tarinel}} - D = 41,900 - 4,393 = 37,507m$$

A altura entre o vértice da rasante e o ponto médio da concordância, representada por h , determina-se com recurso à equação 23.

$$h = \frac{D^2}{8 \cdot R} = \frac{(4,393)^2}{8 \cdot (-200)} = -0,012m$$

Apresentam-se no quadro 40 os pontos necessários para traçar a rasante.

Quadro 40 – Definição da rasante, arruamento 4.

L (m)	Z _{rasante} (m)	Ponto
37,51	87,71	Início concordância 1
39,70	87,83	Vértice
41,90	88,01	Final concordância 1 / Início declive
121,90	94,41	Final declive / Início concordância 2
130,15	95,07	Vértice
138,40	95,28	Final concordância 2 / Rotunda

A cota no final da concordância 2 corresponde à cota da rasante da rotunda nesse mesmo ponto. Calculou-se a cota do vértice da rasante, correspondente ao ponto médio da concordância 2.

$$Z_{\text{vértice}} = Z_{\text{final concordância}} - i_2 \cdot \frac{D}{2} = 95,28 - 2,50\% \cdot \frac{16,500}{2} = 95,07m$$

Seguiu-se o cálculo da cota do ponto inicial da concordância 2, coincidente com o ponto final da rampa.

$$Z_{\text{início concordância}} = Z_{\text{vértice}} - i_1 \cdot \frac{D}{2} = 95,07 - 8,00\% \cdot \frac{16,500}{2} = 94,41m$$

Determinou-se a cota do ponto final da concordância 1, coincidente com o ponto inicial da rampa.

$$Z_{\text{final concordância}} = Z_{\text{final declive}} - i \cdot L_{\text{trainel}} = 94,41 - 8,00\% \cdot 80,000 = 88,01m$$

Calculou-se a cota do vértice da rasante, correspondente ao ponto médio da concordância 1.

$$Z_{vértice} = Z_{final\ concordância} - i_2 \cdot \frac{D}{2} = 88,01 - 8,00\% \cdot \frac{4,393}{2} = 87,83m$$

A cota do ponto inicial da concordância 1, coincidente com a cota do terreno, foi determinada a partir do vértice.

$$Z_{início\ concordância} = Z_{vértice} - i_1 \cdot \frac{D}{2} = 87,83 - 5,80\% \cdot \frac{4,393}{2} = 87,71m$$

Na figura 29 apresenta-se um gráfico esquemático que acompanha a determinação do perfil longitudinal. Este gráfico não se encontra à escala.

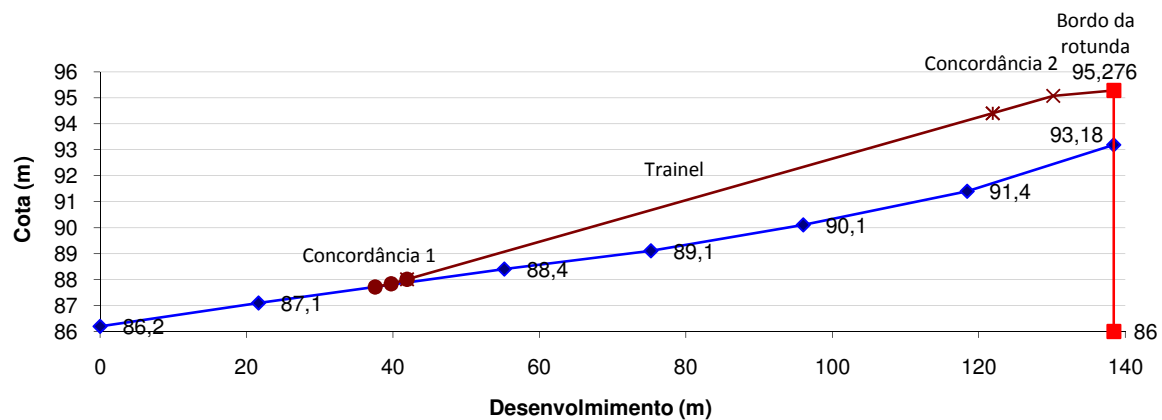


Fig.29 – Gráfico esquemático do perfil longitudinal do arruamento 4.

O perfil longitudinal é, neste caso, condicionado pela rasante, iniciando-se no ponto inicial da concordância 1. Este é o ponto O_4 apresentado na planta do arruamento (Fig.16). Corrigiram-se as distâncias à origem do perfil, de modo ao km 0+000 coincidir com este ponto.

No quadro 41 apresentam-se os pontos necessários para o traçado do perfil longitudinal definitivo. Em anexo apresenta-se o perfil longitudinal à escala, bem como o quadro A14 com as cotas do terreno e rasante a cada 6,25m, necessário para preencher a legenda do perfil.

Quadro 41 – Cotas do terreno e rasante para o perfil longitudinal definitivo, arruamento 4.

Km	Z _{terreno} (m)
0+000,000	87,715
0+017,693	88,400
0+037,693	89,100
0+080,893	91,400
0+100,893	93,181

Km	Z _{rasante} (m)
0+000,000	87,707
0+002,196	87,834
0+004,393	88,010
0+084,393	94,410
0+092,643	95,070
0+100,893	95,276

Na definição do diagrama de sobreelevações, existem dois condicionamentos no arruamento: o ponto inicial e o final do perfil longitudinal. O traçado do diagrama inicia-se com a sobreelevação do arruamento existente no ponto em que se inicia o perfil longitudinal. Chegou-se à sobreelevação - 1,32% / 1,32% para o ponto O₂ inicial do arruamento. No final do perfil a sobreelevação será de - 4,00% / 4,00%, correspondente à inclinação longitudinal do trainel da rotunda no ponto I₄ de inserção do arruamento. Apresenta-se no quadro 42 a sobreelevação ao longo da rasante. Definiu-se uma sobreelevação máxima em curva circular de 2,50%. A variação de sobreelevação máxima permitida é de 5% em 20m.

Quadro 42 – Sobreelevação ao longo da rasante do arruamento 4.

L (m)	Se _{ESQ}	Se _{DIR}	ΔSe _{ESQ}	ΔSe _{DIR}
0,000	-1,32%	1,32%		
4,720	-2,50%	0,14%	-5,00%	-5,00%
15,280	-2,50%	-2,50%	0,00%	-5,00%
50,090	-2,50%	-2,50%	0,00%	0,00%
60,090	0,00%	-2,50%	5,00%	0,00%
70,090	2,50%	-2,50%	5,00%	0,00%
94,893	2,50%	-2,50%	0,00%	0,00%
100,893	4,00%	-4,00%	5,00%	-5,00%

A directriz do arruamento inicia-se em alinhamento recto, passando depois a curva circular para efectuar a inserção na rotunda. Determinou-se a distância à origem à qual é atingida a sobreelevação definida em recta, -2,50% / -2,50%.

Determinou-se o comprimento necessário para o disfarce na via da esquerda.

$$L = L_0 + (Se_0^{ESQ} - Se^{ESQ}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 0,000 + (-1,32\% + 2,50\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 4,720m$$

Determinou-se o comprimento necessário para o disfarce na via da direita.

$$L = L_0 + (Se_0^{DIR} - Se^{DIR}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 0,000 + (1,32\% + 2,50\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 15,280m$$

De seguida, determinou-se a sobrelevação da via da direita, para uma distância à origem de 4,720m.

$$Se^{DIR} = Se_0^{DIR} + (L - L_0) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 1,32\% - (4,720 - 0,000) \cdot \frac{5,00\%}{20,000} = 0,14\%$$

A uma distância à origem de 15,280m, a sobrelevação da via da esquerda é constante, de -2,50%.

No ponto de osculação da directriz entre o alinhamento recto e a curva circular à direita, a sobrelevação é 2,50% / -2,50%. Logo, são necessários 20,000 metros para efectuar o disfarce da sobrelevação entre -2,50% e 2,50%, para a via esquerda. Determinou-se a distância onde esse disfarce se inicia.

$$L = L_1 - 20,000 = 70,090 - 20,000 = 50,090m$$

Indicou-se a distância onde a sobrelevação da via esquerda passa em 0,00%.

$$L = L_1 - (Se_1^{ESQ} - Se^{ESQ}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 70,090 - (2,50\% - 0,00\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 60,090m$$

Entrando em curva circular à direita, a sobrelevação das duas vias é simétrica, calculando-se apenas para a via esquerda. A sobrelevação do extradorso é constante 2,50%, determinando-se a distância à origem do ponto onde se inicia o disfarce para atingir os 4,00% no final do perfil, correspondentes à inclinação longitudinal da rotunda nesse ponto.

$$L = L_1 - (Se^{ESQ} - Se_1^{ESQ}) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 100,893 - (4,00\% - 2,50\%) \cdot \frac{20,000}{5,00\%} = 94,893m$$

Apresentam-se no quadro A15 em anexo os pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações no sentido dos km crescentes.

PAVIMENTAÇÃO CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

O objectivo de um pavimento rodoviário é criar uma superfície que possibilite a circulação dos veículos com segurança e comodidade, durante a sua vida útil e, simultaneamente, proteger o solo de fundação da acção de cargas muito intensas.

Neste projecto pretende dimensionar-se um pavimento do tipo flexível, normalmente constituído por várias camadas de diferentes graus de deformação, cujo modo de actuação consiste na degradação das cargas desde a superfície até ao solo de fundação, tornando-as compatíveis com a resistência deste.

Este tipo de pavimentos caracteriza-se por deflexões elevadas em áreas relativamente restritas, fazendo intervir muito intensamente as camadas superficiais do terrapleno, o que determina cuidados acrescidos a nível do leito de pavimento.

A camada superior é a camada de desgaste, que suporta directamente o tráfego e se apoia, habitualmente, sobre uma camada de regularização e ligação, formando uma superfície plana. Entre a camada de regularização e o leito do pavimento situa-se a base, eventualmente complementada por uma sub-base.

O dimensionamento do pavimento flexível foi baseado no Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários [7].

Os pavimentos são solicitados, fundamentalmente, pelas acções do tráfego (cargas, sua repartição e tempo de actuação) e da temperatura.

Relativamente ao tráfego, os esforços verticais oriundos do peso dos veículos pesados, transmitidos pelas rodas, são os determinantes para o dimensionamento do pavimento. É assim necessário quantificar o número de veículos, as cargas por eixo e a distribuição lateral das passagens.

Essa quantificação é realizada agrupando os veículos por classes, utilizando a classificação das Estradas de Portugal. Apenas os veículos pesados, nas categorias F (comerciais pesados sem reboque), G (comerciais pesados com reboque), H (tractores com semi-reboque) e I (autocarros) interessam para o dimensionamento.

As misturas betuminosas são muito susceptíveis à temperatura, fazendo esta variar muito a sua rigidez. Sendo assim, o seu efeito é tido em conta nas temperaturas de cálculo para a verificação estrutural do pavimento.

Os materiais utilizados no pavimento são caracterizados, simplificada e, através dos seus parâmetros elásticos, coeficiente de Poisson (ν) e Módulo de Deformabilidade (E). No caso de materiais betuminosos, é frequente designar-se o Módulo de Deformabilidade por Módulo de Rigidez, pois pretende quantificar-se uma resistência à tracção em flexão. No caso do coeficiente de Poisson, este não tem grande influência no resultado dos cálculos estruturais, utilizando-se valores entre 0,35 e 0,40 para misturas betuminosas, 0,25 para camadas granulares e valores entre 0,40 e 0,45 para solos.

A acção das cargas transmitidas pelas rodas dos veículos vai impor deformações, dependentes das características dos materiais.

Os materiais ligados estão assim sujeitos a tensões e extensões verticais quase exclusivamente de compressão, a tensões e extensões horizontais de tracção ou compressão, conforme o ponto considerado e a tensões e extensões de corte.

Os materiais granulares estão sujeitos a tensões e extensões de compressão e de corte, e ainda a deformações por extensões positivas.

Os estados de tensão e extensão, num pavimento correctamente dimensionado, estão longe de produzirem a ruína deste. É a sucessiva repetição desses estados que leva à fadiga dos materiais, e consequentemente à rotura.

No caso dos materiais granulares, o acumular de deformações pode originar um estado de deformação global inaceitável do ponto de vista do nível de serviço da estrada, ou eventualmente incompatível com as características das camadas sobrejacentes.

Apesar de admitir-se que os materiais betuminosos têm um comportamento próximo do elástico, estes não o são, e ocorre uma acumulação de pequenas deformações não recuperáveis que acabam por impor uma excessiva deformação no pavimento.

Sendo assim, para o dimensionamento de pavimentos consideram-se dois critérios de ruína: fadiga por tracção nas camadas ligadas e deformação permanente excessiva.

O dimensionamento do pavimento flexível consiste numa simples verificação estrutural, comparando o estado de deformação nos pontos críticos com os valores admissíveis, definidos pelos critérios de ruína.

Seguem-se as etapas do processo de dimensionamento:

- Determinação das solicitações relativas ao tráfego (número de passagens equivalentes do eixo-padrão) e à temperatura (temperatura de cálculo para cada mistura).
- Definição das características dos materiais, incluindo as do solo de fundação.
- Definição de um perfil transversal tipo, tendo em conta as condições do local e dos materiais.
- Cálculo das tensões e deformações instaladas em pontos críticos.
- Comparação de tensões e deformações calculadas com as máximas admissíveis.

No caso de pavimentos flexíveis, comparam-se as máximas extensões horizontais de tracção na base das camadas betuminosas e extensões verticais de compressão à superfície do terrapleno, com os correspondentes valores admissíveis oriundos das leis de fadiga adoptadas para o número acumulado de passagens de eixo-padrão equivalentes.

A determinação do estado de tensão e deformação nos pontos críticos da estrutura definida foi feita com recurso ao programa ALIZÉ, baseado no modelo de Burmister de análise de multi-camadas.

6

PAVIMENTAÇÃO CONDICIONANTES AO PROJECTO

Estudos de tráfego, anteriormente realizados, indicaram para o tráfego diário médio anual de pesados (TMDP), um valor de 527 veículos na intersecção em estudo. A taxa de crescimento prevista é de 2%, constante no período de vida útil de 20 anos do pavimento.

Foi igualmente levado a cabo um estudo do solo, que revelou um módulo de elasticidade de 210 MPa, sendo este solo considerado de elevada qualidade.

A velocidade dos veículos pesados considerada para dimensionamento foi de 30 km/h, atendendo aos elevados declives em perfil e apertados raios em planta.

7

PAVIMENTAÇÃO

7.1. TRÁFEGO

A partir do quadro relativo aos espectros de cargas previsíveis com mais frequência a nível nacional, para o nível de agressividade mais elevado, apresentado no Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários [7], determinou-se o número acumulado de veículos para cada categoria de tráfego e tipo de carga.

Apresentam-se no quadro 43, para cada categoria de tráfego e para cada tipo de carga considerado, a descrição de eixos a considerar. Os tipos de carga considerados foram: cargas típicas, correspondentes ao peso bruto médio para cada categoria de veículos; cargas próximas do limite legal estabelecido para cada tipo de eixo; cargas máximas, quantificadas em função das características médias dos veículos em carga. Os tipos de eixo considerados são eixos simples, representados pela letra “s”, eixos tandem, “t”, e eixos tridem, “tr”.

Quadro 43 – Descrição de eixos por categoria de tráfego e tipo de carga.

Categoria	Distribuição por tipo de carga		
	CT	CPLL	CM
f1	4s+10s	4s+12s	6s+16s
f2	4s+16t	4s+20t	6s+30t
g1	4s+10s+8s+8s	4s+12s+12s+12s	6s+16s+16s+16s
g2	4s+10s+6s+10t	4s+12s+9s+15t	6s+16s+12s+20t
g3	4s+14t+9s+9s	4s+20t+12s+12s	6s+28t+16s+16s
h2	4s+9s+17t	4s+10s+20t	6s+16s+34t
h3	4s+8s+18tr	4s+10s+24tr	6s+16s+38tr
h5	4s+16t+16t	5s+20t+20t	6s+29t+31t
i1	5s+9s	5s+12s	-

Para as mesmas categorias de tráfego e tipo de carga, apresenta-se no quadro 44 a distribuição de tráfego a considerar, resultando do Estudo de Tráfego supra-citado.

Quadro 44 – Distribuição de tráfego por categoria e tipo de carga.

Categoria	Distribuição por categoria	Distribuição por tipo de carga		
		CT	CPLL	CM
f1	54,0%	90,0%	9,5%	0,5%
f2	20,0%	85,0%	14,0%	1,0%
g1	2,0%	80,0%	18,0%	2,0%
g2	2,0%	80,0%	18,0%	2,0%
g3	1,0%	80,0%	18,0%	2,0%
h2	6,0%	75,0%	22,0%	3,0%
h3	5,0%	70,0%	26,0%	4,0%
h5	4,0%	65,0%	30,0%	5,0%
i1	6,0%	95,0%	5,0%	0,0%

Multiplicando o tráfego inicial TMDP pela repartição, obteve-se o número de veículos pesados por categoria de tráfego e tipo de carga.

$$TMDP = 527 \text{ veículos}$$

Quadro 45 – Número de veículos por categoria de tráfego e tipo de carga.

Categoria	Distribuição por categoria	Distribuição por tipo de carga		
		CT	CPLL	CM
f1	284,580	256,122	27,035	1,423
f2	105,400	89,590	14,756	1,054
g1	10,540	8,432	1,897	0,211
g2	10,540	8,432	1,897	0,211
g3	5,270	4,216	0,949	0,105
h2	31,620	23,715	6,956	0,949
h3	26,350	18,445	6,851	1,054
h5	21,080	13,702	6,324	1,054
i1	31,620	30,039	1,581	0,000

Relacionando o quadro 43, descrição de eixos por categoria de tráfego e tipo de carga, com o quadro 45, número de veículos pesados por categoria de tráfego e tipo de carga, chegou-se, para os eixos simples, ao número de eixos para cada categoria de tráfego e peso do eixo. Apresenta-se este resultado no quadro 46.

Quadro 46 – Número de eixos simples para cada categoria de tráfego e peso do eixo.

	4s	5s	6s	8s	9s	10s	12s	16s
f1	283,16	-	1,42	-	-	256,12	27,04	1,42
f2	104,35	-	1,05	-	-	-	-	-
g1	10,33	-	0,21	16,86	-	8,43	5,69	0,63
g2	10,33	-	8,64	-	1,90	8,43	2,11	0,21
g3	5,16	-	0,11	-	8,43	-	1,90	0,21
h2	30,67	-	0,95	-	23,72	6,96	-	0,95
h3	25,30	-	1,05	18,45	-	6,85	-	1,05
h5	13,70	6,32	1,05	-	-	-	-	-
i1	-	31,62	-	-	30,04	-	1,58	-
Total	483,00	37,94	14,49	35,31	64,08	286,79	38,31	4,48

No quadro 47 apresentam-se o número de eixos tandem para cada categoria de tráfego e peso do eixo.

Quadro 47 – Número de eixos tandem para cada categoria de tráfego e peso do eixo.

	4t	10t	14t	15t	16t	17t	20t	28t	29t	30t	31t	34t
f1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f2	-	-	-	-	89,59	-	14,76	-	-	1,05	-	-
g1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
g2	-	8,43	-	1,90	-	-	0,21	-	-	-	-	-
g3	-	-	4,22	-	-	-	0,95	0,11	-	-	-	-
h2	-	-	-	-	-	23,72	6,96	-	-	-	-	0,95
h3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h5	-	-	-	-	27,40	-	12,65	-	1,05	-	1,05	-
i1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,00	8,43	4,22	1,90	116,99	23,72	35,52	0,11	1,05	1,05	1,05	0,95

Observam-se no quadro 48 o número de eixos tridem para cada categoria de tráfego e peso do eixo.

Quadro 48 – Número de eixos tridem para cada categoria e peso do eixo.

	18tr	24tr	38tr
f1			
f2			
g1			
g2			
g3			
h2			
h3	18,45	6,85	1,05
h5			
i1			
Total	18,45	6,85	1,05

No quadro 49 fez-se a conversão de eixos simples em eixos-padrão. O factor de conversão, f_s , foi determinado pela equação 26 [7], onde P representa o peso descarregado por cada eixo, em toneladas.

$$f_s = \left(\frac{P \cdot 9,8}{130} \cdot 1,0 \right)^4 \quad (26)$$

O número de eixos-padrão foi calculado pela equação 27 [7], onde N_s representa o número de eixos simples para cada peso de eixo.

$$N_{padrão\ 1} = N_s \cdot f_s \quad (27)$$

No final, somaram-se todos os eixos-padrão equivalentes para cada caso de peso descarregado por cada eixo simples.

Quadro 49 – Conversão de eixos simples em eixos-padrão.

Carga eixo (ton)	Nº de eixos simples	Nº de eixos padrão
4	483,00	3,99
5	37,94	0,77
6	14,49	0,61
8	35,31	4,67
9	64,08	13,58
10	286,79	92,62
12	38,31	25,66
16	4,48	9,48
Total		151

Fez-se o mesmo para os eixos tandem. A equação 28 [7] permite calcular o factor de conversão de eixo tandem em eixo-padrão de 130 KN, sendo P o peso descarregado por cada eixo em toneladas. A equação 29 [7] permite calcular o número de eixos-padrão, sendo N_t o número de eixos tandem para cada peso de eixo.

$$f_t = \left(\frac{P \cdot 9,8}{130} \cdot 0,57 \right)^4 \quad (28)$$

$$N_{padrão\ 2} = N_t \cdot f_t \quad (29)$$

Quadro 50 – Conversão de eixos tandem em eixos-padrão.

Carga eixo (ton)	Nº de eixos tandem	Nº de eixos padrão
4	0,00	0,00
10	8,43	0,29
14	4,22	0,55
15	1,90	0,33
16	116,99	26,14
17	23,72	6,75
20	35,52	19,37
28	0,11	0,22
29	1,05	2,54
30	1,05	2,91
31	1,05	3,32
34	0,95	4,32
Total		67

A equação 30 [7] permite calcular o factor de conversão de eixos tridem em eixos-padrão de 130 KN, sendo P o peso descarregado por cada eixo em toneladas. A equação 31 [7] permite calcular o número de eixos-padrão, sendo N_{tr} o número de eixos tandem para cada peso de eixo.

$$f_{tr} = \left(\frac{P \cdot 9,8}{130} \cdot 0,5 \right)^4 \quad (30)$$

$$N_{padrão\ 3} = N_{tr} \cdot f_{tr} \quad (31)$$

Quadro 51 – Conversão de eixos tridem em eixos-padrão.

Carga eixo (ton)	Nº de eixos tridem	Nº de eixos padrão
18	18,45	3,91
24	6,85	4,59
38	1,05	4,44
Total		13

Por fim, para se obter o número total de eixos-padrão equivalentes de 130 KN para o ano inicial da exploração, somaram-se os três totais parciais.

$$N_{padrão} = N_{padrão\ 1} + N_{padrão\ 2} + N_{padrão\ 3} = 151 + 67 + 13 = 231 \text{ eixos} - \text{padrão}$$

De seguida determinou-se o número acumulado de eixos-padrão de 130 KN, previsto para o período de vida útil de 20 anos. Sendo t a taxa de crescimento e p o período de vida útil para dimensionamento, tem-se a equação 32 [9]:

$$N_{acumulado} = N_{padrão} \cdot 365 \cdot \sum_{i=0}^{p-1} (1 + t)^i \quad (32)$$

Substituindo,

$$N_{acumulado} = 231 \cdot 365 \cdot \sum_{i=0}^{20-1} (1 + 0,02)^i = 2.049.047 \text{ eixos} - \text{padrão} \cong 2 \cdot 10^6 \text{ eixos} - \text{padrão}$$

7.2. TEMPERATURA

A partir do Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários [7], retirou-se a temperatura média anual ponderada do ar, na estação mais próxima, a estação meteorológica de Paços de Ferreira.

$$T_{ar} = 14,3^{\circ}\text{C}$$

Retiraram-se igualmente de [7] as temperaturas de cálculo para as camadas betuminosas.

Quadro 52 – Temperaturas de cálculo das misturas betuminosas.

Mistura betuminosa	T_{calc}
Betão Betuminoso	21,0 °C
Macadame Betuminoso	21,0 °C

As temperaturas de cálculo indicadas correspondem, por aproximação, ao grupo classificativo T_0 22/21, onde o primeiro valor corresponde à temperatura de cálculo para betões betuminosos e o segundo a macadames betuminosos.

7.3. CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS BETUMINOSAS

Segundo o Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários [7], determinaram-se os módulos de rigidez e coeficientes de Poisson para as camadas betuminosas.

Definiu-se que o perfil transversal incluiria duas camadas betuminosas: uma camada de desgaste em betão betuminoso e uma camada de base em macadame betuminoso.

A velocidade de dimensionamento do pavimento é de 30 Km/h, equivalente a 8,3(3) m/s. Seja r o raio do círculo de área equivalente à área de contacto efectiva do pneu de um veículo. Tomou-se o valor de 12,5 cm para o raio, correspondente ao eixo simples com rodados geminados, de 130 KN. O tempo que demora a aplicação da carga calculou-se dividindo o espaço percorrido, correspondente a um diâmetro do pneu, pela velocidade.

$$t = \frac{2 \cdot 0,125}{8,3(3)} = 0.03 \text{ s}$$

Segundo a fórmula da Shell, citada em [7], o período T relaciona-se com o tempo de aplicação da carga t através da equação 33.

$$T = \frac{20}{3} \cdot t \quad (33)$$

Substituindo,

$$T = \frac{20}{3} \cdot 0,03 = 0,2 \text{ s}$$

E relacionando o período T com a frequência f ,

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ Hz}$$

Para um betume de penetração nominal de 50/70 (correspondente à antiga designação de 60/70), e para uma frequência de 5 Hz (correspondente a uma velocidade de 30Km/h, como se acabou de determinar), e para o grupo classificativo T_0 relativo às temperaturas de cálculo, obtiveram-se os módulos de rigidez relativos às misturas betuminosas.

Quadro 53 – Módulos de rigidez das misturas betuminosas.

Mistura betuminosa	Tipo de camada	E_{mistura} (MPa)
Betão Betuminoso (BB)	desgaste	4500
Macadame Betuminoso (MB)	base	3900

Sendo a temperatura de cálculo superior a 20 °C e a penetração nominal superior a 30/50, definiu-se para ambas as camadas betuminosas um coeficiente de Poisson de 0,40.

Consultando o Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional [8], apresentam-se as características a adoptar para as misturas betuminosas a quente.

Betão betuminoso em camada de desgaste:

- Designação – AC 14 surf 50/70 (antigo BB)
- Dimensão máxima do agregado: 14 mm
- Teor em betume: 5,2 - 5,8 %
- Porosidade: 3 - 5%
- Espessura recomendável: 4 - 6 cm

Macadame betuminoso em camada de base:

- Designação – AC 37,5 base 50/70 (antigo MB)
- Dimensão máxima do agregado: 37,5 mm
- Teor em betume: 4,0 - 4,8 %
- Porosidade: 6 - 9%

- Espessura recomendável: 9 - 15 cm

Entre as duas camadas betuminosas, recomenda-se a aplicação de uma rega de colagem com uma emulsão betuminosa, de modo às camadas ficarem ligadas e haver uma correcta transferência de tensões tangenciais entre elas. A rega deverá ter uma dosagem de 0,5 Kg/m².

7.4. CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS GRANULARES

Estando módulo de deformabilidade da fundação já definido à partida por estudos efectuados anteriormente, utilizou-se a fórmula 34 sugerida pela Shell, em [7], para determinar um módulo de deformabilidade aproximado para o solo da base granular.

$$E_{granular} = 0,2 \cdot (h \cdot 10)^{0,45} \cdot E_s \quad (34)$$

$E_{granular}$ corresponde ao módulo de deformabilidade da camada granular, em MPa, h corresponde à espessura da camada granular, em cm, e E_s corresponde ao módulo de deformabilidade do solo da fundação, em MPa.

Para uma espessura da camada de base granular de 15 cm e um módulo de deformabilidade do solo da fundação de 210 MPa, tem-se:

$$E_{granular} = 0,2 \cdot (15 \cdot 10)^{0,45} \cdot 210 = 400 \text{ MPa}$$

O valor do coeficiente de Poisson aconselhado para camadas granulares é de 0,35.

No caso do solo de fundação, o coeficiente de Poisson aconselhado para solos com CBR superior a 15% é de 0,40. É o caso do presente solo, já que o módulo de deformabilidade é de 210 MPa e este pode ser aproximado pela expressão 35, sugerida em [7], sendo E_s o módulo de deformabilidade do solo e entrando o CBR em percentagem.

$$E_s = 10 \cdot CBR \quad (35)$$

Visto a expressão apenas ser válida para $E \leq 150 \text{ MPa}$, para garantir o módulo de deformabilidade do solo indicado adopta-se um valor do CBR superior:

$$E_s = 210 \text{ MPa} \leftrightarrow CBR > 21\%$$

Logo, define-se o valor de 0,40 para o coeficiente de Poisson.

Consultando o Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional [8], apresentam-se as características a adoptar para a camada granular.

Agregado de granulometria extensa em camada de base:

- Designação – AGE (antigo BG)
- Material britado sem recomposição
- Granulometria extensa

- Dimensão máxima: 37,5 mm
- Equivalente de areia mínimo: 50%
- Los Angeles máximo: 35% (granulometria F)

7.5. ESTRUTURA DO PERFIL TRANSVERSAL

Foram definidas as seguintes camadas, no sentido crescente da profundidade:

- Camada de desgaste em betão betuminoso, $E_{mistura} = 4500 \text{ MPa}$, $\nu = 0,40$
- Camada de base em macadame betuminoso, $E_{mistura} = 3900 \text{ MPa}$, $\nu = 0,40$
- Camada de base granular em agregado de granulometria extensa, $E_s = 400 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$
- Solo de fundação, $E_s = 210 \text{ MPa}$, $\nu = 0,40$

A estrutura final é a estrutura mais económica que cumpre as verificações estruturais. Após várias iterações com espessuras dentro dos intervalos anteriormente referidos, chegou-se à solução que aqui se apresenta, seguida da sua verificação estrutural.

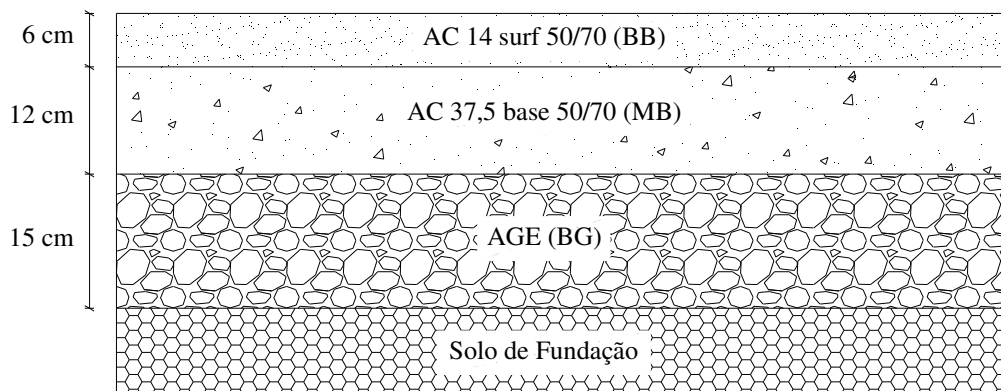


Fig.30 – Estrutura do perfil transversal.

7.6. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL

A verificação estrutural deve ser realizada à fadiga por tracção e à fadiga por deformação permanente. A determinação das extensões admissíveis à tracção foi feita com recurso à equação 36 fornecida pela Shell, em [9].

$$\varepsilon_t^{adm} = K \cdot N_{esperado}^{-0,20} \quad (36)$$

ε_t^{adm} corresponde à extensão de tracção admissível no fundo das camadas betuminosas. Para camadas em macadame betuminoso, K pode ser tomado igual a $2,6 \cdot 10^{-3}$. $N_{esperado}$ corresponde ao número

acumulado de eixos-padrão de 130 KN esperados para os 20 anos de vida útil do pavimento, já calculado anteriormente.

$$K = 2,6 \cdot 10^{-3}$$

$$N_{esperado} = 2.049.047 \text{ eixos-padrão}$$

Assim,

$$\varepsilon_t^{adm} = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2049047^{-0,20} = -1,42 \cdot 10^{-4}$$

Do mesmo modo, a determinação das extensões de compressão admissíveis à deformação permanente foi feita com recurso à equação 37 fornecida pela Shell, em [9].

$$\varepsilon_{dp}^{adm} = K_s \cdot N_{esperado}^{-0,25} \quad (37)$$

ε_{dp}^{adm} corresponde à extensão de compressão admissível no topo do solo de fundação. Segundo [9], para camadas betuminosas, K_s pode ser tomado igual a $1,8 \cdot 10^{-2}$. $N_{esperado}$ corresponde ao número acumulado de eixos-padrão.

$$K_s = 1,8 \cdot 10^{-2}$$

$$N_{esperado} = 2.049.047 \text{ eixos-padrão}$$

Assim,

$$\varepsilon_{dp}^{adm} = 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot 2049047^{-0,25} = 9,84 \cdot 10^{-4}$$

Os valores verificados para o perfil transversal definido foram obtidos a partir do programa de cálculo ALIZÉ. O seu quadro de resultados final encontra-se em anexo (quadro A16), donde se retiraram os valores que aqui se apresentam.

$$\varepsilon_t^{verificada} = -1,40 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{dp}^{verificada} = 3,05 \cdot 10^{-4}$$

Comparando com os valores admissíveis,

$$\varepsilon_t^{verificada} = 1,40 \cdot 10^{-4} < 1,42 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

$$\varepsilon_{dp}^{verificada} = 3,05 \cdot 10^{-4} < 9,84 \cdot 10^{-4} \quad \text{OK}$$

Os valores admissíveis para o número de eixos-padrão que levam à fadiga por tracção e por deformação permanente foram obtidos a partir das equações 36 e 37, entrando com as extensões verificadas no ALIZE.

$$1,40 \cdot 10^{-4} = 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot N_{admissivel}^{-0,20}$$

$$N_t^{admissivel} = 2.209.157 \text{ eixos} - \text{padrão} \cong 2 \cdot 10^6 \text{ eixos} - \text{padrão}$$

$$3,05 \cdot 10^{-4} = 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot N_{admissivel}^{-0,25}$$

$$N_{dp}^{admissivel} = 12.130.834 \text{ eixos} - \text{padrão} \cong 12 \cdot 10^6 \text{ eixos} - \text{padrão}$$

A situação de fadiga por tracção é condicionante para este perfil transversal, como já se verificou a partir das extensões. A razão entre o número de eixos-padrão verificados e o número de eixos-padrão admissíveis terá de ser menor que 100%.

$$\frac{N_{esperado}}{N_{admissivel}} \cdot 100 < 100\%$$

$$\frac{2049047}{2209157} \cdot 100 = 93\% < 100\% \quad OK$$

Sendo as extensões verificadas inferiores às admissíveis, e o número de eixos-padrão esperado inferior ao admissível, a verificação da estrutura feita.

8

CONCLUSÃO

A solução final para a directriz é apresentada nos desenhos nº1 e nº2 em anexo. O primeiro, à escala 1:500, engloba a planta de implantação da rotunda e arruamentos, incluindo a cartografia existente. O segundo, à escala 1:250, apresenta apenas o pormenor da rotunda, sem cartografia. Nos desenhos nº3 a nº7 definem-se os perfis longitudinais dos arruamentos e rotunda. Faz-se de seguida um breve resumo das soluções encontradas.

O traçado da rasante da rotunda foi definido passando no ponto de cota mais elevada do terreno, efectuando-se em aterro a partir daí, limitado pelos valores definidos para as inclinações longitudinais máximas.

O traçado do arruamento 1 foi condicionado pela rasante, começando no ponto em que se inicia o aterro e em declive. Este termina no ponto onde se dá a inserção na rotunda, minimizando o volume de terra movimentada. O antigo traçado caracterizava-se por duas vias no sentido dos km decrescentes. Assim, visto existir apenas uma via na saída da rotunda, a passagem para duas vias acontecerá assim que a largura da faixa de rodagem o permitir.

O traçado do arruamento 2 foi totalmente refeito, projectando-se uma nova directriz, visto a antiga não permitir uma correcta inserção na rotunda com um ângulo próximo de 90°, ao mesmo tempo que um suficiente afastamento sem interferência com a área ocupada pela inserção do arruamento 1. Definiu-se uma curva circular à esquerda, afastando o novo traçado do traçado anterior, seguida de curva circular à direita, com a qual se retoma o traçado anterior. A ausência de curvas de transição nesta sequência justifica-se com as baixas velocidades praticadas (velocidade base de 30 m/h). A intervenção efectuou-se em aterro e em declive, com a rasante a acompanhar o terreno existente.

O arruamento 3 teve o seu traçado condicionado pela directriz, iniciando-se a intervenção no ponto onde a largura da faixa de rodagem começa a sofrer alteração. A saída da rotunda faz-se com apenas uma via, efectuando-se passagem de uma para duas vias, no sentido dos km decrescentes, assim que a largura da faixa de rodagem o permitir. O separador central existente foi abolido, no sentido dos km crescentes, dando lugar à ilha separadora para que a inserção na rotunda se efectuasse correctamente. A intervenção na rasante foi mínima, mantendo-se o acentuado declive do anterior traçado.

A intervenção no arruamento 4 foi condicionada pela rasante, efectuando-se em aterro em rampa acentuada. As duas vias existentes no antigo traçado, no sentido dos km crescentes, dão lugar a apenas uma, em simultâneo com a redução da largura da faixa de rodagem, aquando a inserção na rotunda.

Esta solução permite uma harmonia entre segurança e conforto, as limitações do relevo existente e o nível de intervenção efectuado, sendo este último directamente proporcional ao orçamento pretendido para a obra.

Em relação à estrutura definida para o pavimento, optou-se por manter a uma solução de pavimento flexível tradicionalmente usada com sucesso no país, permitindo uma margem de segurança para uma utilização dentro dos parâmetros previstos.

Por último, em comentário ao presente relatório académico, chama-se a atenção de que se pretendeu focar os diversos passos que fazem parte do estudo e suportam a solução final do Projecto de Execução, implícitos e fundamentais para a sua viabilidade mas habitualmente não referidos neste. A não utilização de programas de cálculo automático para definição do traçado permitiu uma boa compreensão dos conceitos que, ao servirem de base a projectos de maior envergadura, têm de ser dominados para que os objectivos da solução final sejam cumpridos. A opção por Rotunda Elíptica ocorreu por duas razões distintas:

- ser esta a forma mais adaptada ao espaço disponível na intersecção que se pretendia substituir;
- apresentar um grau de dificuldade muito superior às clássicas circulares, conjugando assim a prática dos algoritmos próprios das intersecções giratórias com técnicas de construção de nós de ligação.

Neste último sentido, académico, conseguiu-se assim uma prática mais vasta dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas afins da Opção Condicionada de Vias de Comunicação.

ANEXOS

9.1. GEOMETRIA DO TRAÇADO

Quadro A1 – Piquetagem da curva em clotóide.

L	δ (rad)	R	x	y	x'	y'	M	P	Ponto
0,000	0,0000000	infinito	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-1.782,897	169.429,453	O
0,500	0,0002583	58080,0000	0,5000	0,0000	0,4977	0,0484	-1.782,399	169.429,404	
1,000	0,0010331	14520,0000	1,0000	0,0003	0,9953	-0,0965	-1.781,902	169.429,549	
1,500	0,0023244	6453,3333	1,5000	0,0012	1,4931	-0,1440	-1.781,404	169.429,597	
2,000	0,0041322	3630,0000	2,0000	0,0028	1,9909	-0,1909	-1.780,906	169.429,644	
2,500	0,0064566	2323,2000	2,5000	0,0054	2,4888	-0,2366	-1.780,408	169.429,689	
3,000	0,0092975	1613,3333	3,0000	0,0093	2,9868	-0,2811	-1.779,910	169.429,734	
3,500	0,0126550	1185,3061	3,4999	0,0148	3,4849	-0,3241	-1.779,412	169.429,777	
4,000	0,0165289	907,5000	3,9999	0,0220	3,9832	-0,3653	-1.778,914	169.429,818	
4,500	0,0209194	717,0370	4,4998	0,0314	4,4817	-0,4043	-1.778,415	169.429,857	
5,000	0,0258264	580,8000	4,9997	0,0430	4,9804	-0,4411	-1.777,917	169.429,894	
5,500	0,0312500	480,0000	5,4995	0,0573	5,4792	-0,4753	-1.777,418	169.429,928	
6,000	0,0371901	403,3333	5,9992	0,0744	5,9782	-0,5067	-1.776,919	169.429,959	
6,500	0,0436467	343,6686	6,4988	0,0946	6,4774	-0,5350	-1.776,420	169.429,988	
7,000	0,0506198	296,3265	6,9982	0,1181	6,9768	-0,5599	-1.775,920	169.430,013	
7,500	0,0581095	258,1333	7,4975	0,1452	7,4763	-0,5812	-1.775,421	169.430,034	
8,000	0,0661157	226,8750	7,9965	0,1763	7,9760	-0,5986	-1.774,921	169.430,051	
8,500	0,0746384	200,9689	8,4953	0,2114	8,4758	-0,6119	-1.774,421	169.430,065	
9,000	0,0836777	179,2593	8,9937	0,2509	8,9758	-0,6209	-1.773,921	169.430,074	
9,500	0,0932335	160,8864	9,4917	0,2951	9,4757	-0,6251	-1.773,421	169.430,078	
10,000	0,1033058	145,2000	9,9893	0,3441	9,9757	-0,6245	-1.772,921	169.430,077	
10,500	0,1138946	131,7007	10,4864	0,3983	10,4757	-0,6187	-1.772,421	169.430,071	
11,000	0,1250000	120,0000	10,9828	0,4578	10,9756	-0,6075	-1.771,921	169.430,060	
11,500	0,1366219	109,7921	11,4786	0,5230	11,4753	-0,5906	-1.771,422	169.430,043	
11,831	0,1446025	103,7327	11,8064	0,5694	11,8061	-0,5761	-1.771,091	169.430,029	A2
12,000	0,1487603	100,8333	11,9735	0,5941	11,9748	-0,5677	-1.770,922	169.430,021	
12,500	0,1614153	92,9280	12,4675	0,6713	12,4739	-0,5387	-1.770,423	169.429,991	
13,000	0,1745868	85,9172	12,9604	0,7549	12,9726	-0,5032	-1.769,924	169.429,956	
13,500	0,1882748	79,6708	13,4522	0,8451	13,4709	-0,4610	-1.769,426	169.429,914	
14,000	0,2024793	74,0816	13,9427	0,9421	13,9684	-0,4119	-1.768,928	169.429,865	
14,500	0,2172004	69,0606	14,4317	1,0463	14,4652	-0,3556	-1.768,432	169.429,808	
15,000	0,2324380	64,5333	14,9192	1,1577	14,9612	-0,2919	-1.767,936	169.429,745	
15,500	0,2481921	60,4370	15,4048	1,2767	15,4560	-0,2205	-1.767,441	169.429,673	

16,000	0,2644628	56,7188	15,8885	1,4034	15,9497	-0,1412	-1.766,947	169.429,594	
16,500	0,2812500	53,3333	16,3700	1,5382	16,4420	-0,0537	-1.766,455	169.429,506	
17,000	0,2985537	50,2422	16,8491	1,6811	16,9327	0,0422	-1.765,964	169.429,411	
17,500	0,3163740	47,4122	17,3256	1,8324	17,4217	0,1466	-1.765,475	169.429,306	
18,000	0,3347107	44,8148	17,7994	1,9923	17,9086	0,2599	-1.764,988	169.429,193	
18,500	0,3535640	42,4251	18,2701	2,1609	18,3934	0,3822	-1.764,503	169.429,071	
19,000	0,3729339	40,2216	18,7374	2,3386	18,8758	0,5138	-1.764,021	169.428,939	
19,500	0,3928202	38,1854	19,2012	2,5253	19,3555	0,6548	-1.763,541	169.428,798	
20,000	0,4132231	36,3000	19,6612	2,7214	19,8323	0,8054	-1.763,065	169.428,647	
20,500	0,4341426	34,5509	20,1170	2,9269	20,3058	0,9659	-1.762,591	169.428,487	
21,000	0,4555785	32,9252	20,5683	3,1421	20,7759	1,1363	-1.762,121	169.428,316	
21,500	0,4775310	31,4116	21,0149	3,3670	21,2421	1,3169	-1.761,655	169.428,136	
22,000	0,5000000	30,0000	21,4563	3,6017	21,7042	1,5078	-1.761,193	169.427,945	
22,500	0,5229855	28,6815	21,8923	3,8464	22,1619	1,7092	-1.760,735	169.427,744	
23,000	0,5464876	27,4480	22,3225	4,1012	22,6147	1,9211	-1.760,282	169.427,532	
23,500	0,5705062	26,2924	22,7466	4,3661	23,0624	2,1438	-1.759,835	169.427,309	
24,000	0,5950413	25,2083	23,1640	4,6413	23,5045	2,3772	-1.759,392	169.427,076	
24,500	0,6200930	24,1899	23,5746	4,9267	23,9408	2,6215	-1.758,956	169.426,831	
25,000	0,6456612	23,2320	23,9777	5,2224	24,3707	2,8768	-1.758,526	169.426,576	
25,500	0,6717459	22,3299	24,3731	5,5284	24,7938	3,1431	-1.758,103	169.426,310	
26,000	0,6983471	21,4793	24,7603	5,8448	25,2098	3,4205	-1.757,687	169.426,032	
26,500	0,7254649	20,6764	25,1389	6,1714	25,6182	3,7089	-1.757,279	169.425,744	
27,000	0,7530992	19,9177	25,5084	6,5082	26,0186	4,0084	-1.756,878	169.425,444	
27,500	0,7812500	19,2000	25,8683	6,8552	26,4104	4,3190	-1.756,487	169.425,134	
28,000	0,8099174	18,5204	26,2182	7,2124	26,7933	4,6406	-1.756,104	169.424,812	
28,500	0,8391012	17,8763	26,5577	7,5794	27,1667	4,9731	-1.755,730	169.424,480	
29,000	0,8688017	17,2652	26,8862	7,9563	27,5301	5,3164	-1.755,367	169.424,136	
29,500	0,8990186	16,6849	27,2033	8,3429	27,8831	5,6705	-1.755,014	169.423,782	
30,000	0,9297521	16,1333	27,5084	8,7390	28,2252	6,0351	-1.754,672	169.423,418	A1

Quadro A2 – Piquetagem da curva circular de raio r_2 .

α_2 (gr)	d (m)	M	P	Ponto
0,0000000	0,0000	-1.789,309	169.426,701	A
0,8075271	0,5189	-1.788,831	169.426,905	
1,6150543	1,0378	-1.788,351	169.427,102	
2,4225814	1,5567	-1.787,869	169.427,293	
3,2301085	2,0757	-1.787,384	169.427,478	
4,0376357	2,5946	-1.786,897	169.427,657	
4,8451628	3,1135	-1.786,407	169.427,830	
5,6526899	3,6324	-1.785,916	169.427,996	
6,4602171	4,1513	-1.785,422	169.428,156	
7,2677442	4,6702	-1.784,927	169.428,310	
8,0752713	5,1892	-1.784,429	169.428,458	
8,8827985	5,7081	-1.783,930	169.428,599	
9,6903256	6,2270	-1.783,429	169.428,734	
10,4978527	6,7459	-1.782,926	169.428,863	
11,3053799	7,2648	-1.782,422	169.428,985	
12,1129070	7,7837	-1.781,916	169.429,101	
12,9204341	8,3027	-1.781,409	169.429,210	
13,7279613	8,8216	-1.780,900	169.429,313	
14,5354884	9,3405	-1.780,390	169.429,409	
15,3430155	9,8594	-1.779,879	169.429,499	
16,1505427	10,3783	-1.779,367	169.429,583	
16,9580698	10,8972	-1.778,854	169.429,660	
17,7655970	11,4161	-1.778,340	169.429,731	
18,5731241	11,9351	-1.777,825	169.429,794	
19,3806512	12,4540	-1.777,309	169.429,852	
20,1881784	12,9729	-1.776,793	169.429,903	
20,9957055	13,4918	-1.776,276	169.429,947	
21,8032326	14,0107	-1.775,758	169.429,985	
22,6107598	14,5296	-1.775,240	169.430,016	
23,4182869	15,0486	-1.774,722	169.430,041	
24,2258140	15,5675	-1.774,203	169.430,059	
25,0333412	16,0864	-1.773,685	169.430,070	
25,8408683	16,6053	-1.773,166	169.430,075	
26,6483954	17,1242	-1.772,647	169.430,073	
27,4559226	17,6431	-1.772,128	169.430,065	
28,2634497	18,1621	-1.771,609	169.430,050	
29,0709768	18,6810	-1.771,091	169.430,029	A2

Quadro A3 – Piquetagem da curva circular de raio r_1 .

α_1	d (m)	M	P	Ponto
0,0000000	0,0000	-1.754,672	169.423,418	A1
0,6346950	0,1608	-1.754,564	169.423,298	
1,2693901	0,3217	-1.754,458	169.423,177	
1,9040851	0,4825	-1.754,353	169.423,056	
2,5387802	0,6434	-1.754,249	169.422,933	
3,1734752	0,8042	-1.754,146	169.422,809	
3,8081703	0,9651	-1.754,044	169.422,685	
4,4428653	1,1259	-1.753,944	169.422,559	
5,0775604	1,2868	-1.753,845	169.422,432	
5,7122554	1,4476	-1.753,747	169.422,304	
6,3469505	1,6085	-1.753,651	169.422,176	
6,9816455	1,7693	-1.753,555	169.422,046	
7,6163406	1,9301	-1.753,462	169.421,915	
8,2510356	2,0910	-1.753,369	169.421,784	
8,8857307	2,2518	-1.753,278	169.421,652	
9,5204257	2,4127	-1.753,188	169.421,518	
10,1551208	2,5735	-1.753,099	169.421,384	
10,7898158	2,7344	-1.753,012	169.421,249	
11,4245109	2,8952	-1.752,926	169.421,113	
12,0592059	3,0561	-1.752,841	169.420,976	
12,6939010	3,2169	-1.752,758	169.420,838	
13,3285960	3,3778	-1.752,676	169.420,700	
13,9632911	3,5386	-1.752,596	169.420,561	
14,5979861	3,6994	-1.752,517	169.420,421	
15,2326812	3,8603	-1.752,439	169.420,280	
15,8673762	4,0211	-1.752,363	169.420,138	
16,5020713	4,1820	-1.752,288	169.419,996	
17,1367663	4,3428	-1.752,215	169.419,852	
17,7714614	4,5037	-1.752,143	169.419,709	
18,4061564	4,6645	-1.752,072	169.419,564	
19,0408515	4,8254	-1.752,003	169.419,419	
19,6755465	4,9862	-1.751,936	169.419,273	
20,3102416	5,1471	-1.751,870	169.419,126	
20,9449366	5,3079	-1.751,805	169.418,979	B'

Quadro A4 – Piquetagem para o primeiro quadrante.

Km	M	P	Ponto
0+000,000	-1.789,309	169.426,701	A
0+000,519	-1.788,831	169.426,905	
0+001,038	-1.788,351	169.427,102	
0+001,557	-1.787,869	169.427,293	
0+002,076	-1.787,384	169.427,478	
0+002,595	-1.786,897	169.427,657	
0+003,113	-1.786,407	169.427,830	
0+003,632	-1.785,916	169.427,996	
0+004,151	-1.785,422	169.428,156	
0+004,670	-1.784,927	169.428,310	
0+005,189	-1.784,429	169.428,458	
0+005,708	-1.783,930	169.428,599	
0+006,227	-1.783,429	169.428,734	
0+006,746	-1.782,926	169.428,863	
0+007,265	-1.782,422	169.428,985	
0+007,784	-1.781,916	169.429,101	
0+008,303	-1.781,409	169.429,210	
0+008,822	-1.780,900	169.429,313	
0+009,340	-1.780,390	169.429,409	
0+009,859	-1.779,879	169.429,499	
0+010,378	-1.779,367	169.429,583	
0+010,897	-1.778,854	169.429,660	
0+011,416	-1.778,340	169.429,731	
0+011,935	-1.777,825	169.429,794	
0+012,454	-1.777,309	169.429,852	
0+012,973	-1.776,793	169.429,903	
0+013,492	-1.776,276	169.429,947	
0+014,011	-1.775,758	169.429,985	
0+014,530	-1.775,240	169.430,016	
0+015,049	-1.774,722	169.430,041	
0+015,567	-1.774,203	169.430,059	
0+016,086	-1.773,685	169.430,070	
0+016,605	-1.773,166	169.430,075	
0+017,124	-1.772,647	169.430,073	
0+017,643	-1.772,128	169.430,065	
0+018,162	-1.771,609	169.430,050	
0+018,681	-1.771,091	169.430,029	A2
0+018,681	-1.771,091	169.430,029	A2
0+018,850	-1.770,922	169.430,021	
0+019,350	-1.770,423	169.429,991	
0+019,850	-1.769,924	169.429,956	
0+020,350	-1.769,426	169.429,914	
0+020,850	-1.768,928	169.429,865	
0+021,350	-1.768,432	169.429,808	
0+021,850	-1.767,936	169.429,745	
0+022,350	-1.767,441	169.429,673	
0+022,850	-1.766,947	169.429,594	

0+023,350	-1.766,455	169.429,506	
0+023,850	-1.765,964	169.429,411	
0+024,350	-1.765,475	169.429,306	
0+024,850	-1.764,988	169.429,193	
0+025,350	-1.764,503	169.429,071	
0+025,850	-1.764,021	169.428,939	
0+026,350	-1.763,541	169.428,798	
0+026,850	-1.763,065	169.428,647	
0+027,350	-1.762,591	169.428,487	
0+027,850	-1.762,121	169.428,316	
0+028,350	-1.761,655	169.428,136	
0+028,850	-1.761,193	169.427,945	
0+029,350	-1.760,735	169.427,744	
0+029,850	-1.760,282	169.427,532	
0+030,350	-1.759,835	169.427,309	
0+030,850	-1.759,392	169.427,076	
0+031,350	-1.758,956	169.426,831	
0+031,850	-1.758,526	169.426,576	
0+032,350	-1.758,103	169.426,310	
0+032,850	-1.757,687	169.426,032	
0+033,350	-1.757,279	169.425,744	
0+033,850	-1.756,878	169.425,444	
0+034,350	-1.756,487	169.425,134	
0+034,850	-1.756,104	169.424,812	
0+035,350	-1.755,730	169.424,480	
0+035,850	-1.755,367	169.424,136	
0+036,350	-1.755,014	169.423,782	
0+036,850	-1.754,672	169.423,418	A1
0+036,850	-1.754,672	169.423,418	A1
0+037,011	-1.754,564	169.423,298	
0+037,172	-1.754,458	169.423,177	
0+037,332	-1.754,353	169.423,056	
0+037,493	-1.754,249	169.422,933	
0+037,654	-1.754,146	169.422,809	
0+037,815	-1.754,044	169.422,685	
0+037,976	-1.753,944	169.422,559	
0+038,137	-1.753,845	169.422,432	
0+038,297	-1.753,747	169.422,304	
0+038,458	-1.753,651	169.422,176	
0+038,619	-1.753,555	169.422,046	
0+038,780	-1.753,462	169.421,915	
0+038,941	-1.753,369	169.421,784	
0+039,102	-1.753,278	169.421,652	
0+039,263	-1.753,188	169.421,518	
0+039,423	-1.753,099	169.421,384	
0+039,584	-1.753,012	169.421,249	
0+039,745	-1.752,926	169.421,113	
0+039,906	-1.752,841	169.420,976	
0+040,067	-1.752,758	169.420,838	
0+040,228	-1.752,676	169.420,700	

0+040,388	-1.752,596	169.420,561	
0+040,549	-1.752,517	169.420,421	
0+040,710	-1.752,439	169.420,280	
0+040,871	-1.752,363	169.420,138	
0+041,032	-1.752,288	169.419,996	
0+041,193	-1.752,215	169.419,852	
0+041,354	-1.752,143	169.419,709	
0+041,514	-1.752,072	169.419,564	
0+041,675	-1.752,003	169.419,419	
0+041,836	-1.751,936	169.419,273	
0+041,997	-1.751,870	169.419,126	
0+042,158	-1.751,805	169.418,979	B'

Quadro A5 – Coordenadas dos pontos da clotóide no bordo interior, 1º quadrante da rotunda.

L (m)	δ (grados)	Az(tangente)	Az(centro)	M	P
11,831	9,2056791	103,0335378	203,0335378	-1.771,472	169.422,038
12,000	9,4703768	103,2982355	203,2982355	-1.771,336	169.422,031
12,500	10,2760165	104,1038752	204,1038752	-1.770,938	169.422,008
13,000	11,1145394	104,9423981	204,9423981	-1.770,545	169.421,980
13,500	11,9859456	105,8138043	205,8138043	-1.770,156	169.421,947
14,000	12,8902351	106,7180938	206,7180938	-1.769,771	169.421,909
14,500	13,8274078	107,6552665	207,6552665	-1.769,391	169.421,866
15,000	14,7974637	108,6253224	208,6253224	-1.769,016	169.421,818
15,500	15,8004029	109,6282616	209,6282616	-1.768,646	169.421,765
16,000	16,8362254	110,6640841	210,6640841	-1.768,281	169.421,706
16,500	17,9049311	111,7327898	211,7327898	-1.767,921	169.421,642
17,000	19,0065201	112,8343788	212,8343788	-1.767,566	169.421,573
17,500	20,1409923	113,9688510	213,9688510	-1.767,217	169.421,498
18,000	21,3083478	115,1362064	215,1362064	-1.766,872	169.421,418
18,500	22,5085865	116,3364452	216,3364452	-1.766,534	169.421,333
19,000	23,7417085	117,5695671	217,5695671	-1.766,201	169.421,242
19,500	25,0077137	118,8355724	218,8355724	-1.765,874	169.421,146
20,000	26,3066022	120,1344609	220,1344609	-1.765,553	169.421,044
20,500	27,6383739	121,4662326	221,4662326	-1.765,238	169.420,937
21,000	29,0030289	122,8308876	222,8308876	-1.764,929	169.420,825
21,500	30,4005671	124,2284258	224,2284258	-1.764,626	169.420,708
22,000	31,8309886	125,6588473	225,6588473	-1.764,331	169.420,586
22,500	33,2942934	127,1221521	227,1221521	-1.764,041	169.420,459
23,000	34,7904814	128,6183401	228,6183401	-1.763,759	169.420,326
23,500	36,3195526	130,1474113	230,1474113	-1.763,483	169.420,189
24,000	37,8815071	131,7093658	231,7093658	-1.763,214	169.420,048
24,500	39,4763449	133,3042036	233,3042036	-1.762,953	169.419,901
25,000	41,1040659	134,9319246	234,9319246	-1.762,699	169.419,750
25,500	42,7646701	136,5925288	236,5925288	-1.762,452	169.419,595
26,000	44,4581577	138,2860164	238,2860164	-1.762,213	169.419,436
26,500	46,1845284	140,0123871	240,0123871	-1.761,982	169.419,273
27,000	47,9437824	141,7716411	241,7716411	-1.761,759	169.419,106
27,500	49,7359197	143,5637784	243,5637784	-1.761,544	169.418,935
28,000	51,5609402	145,3887989	245,3887989	-1.761,336	169.418,761
28,500	53,4188440	147,2467027	247,2467027	-1.761,137	169.418,584
29,000	55,3096310	149,1374897	249,1374897	-1.760,947	169.418,403
29,500	57,2333013	151,0611600	251,0611600	-1.760,764	169.418,221
30,000	59,1898549	153,0177136	253,0177136	-1.760,590	169.418,035

Quadro A6 – Cotas do terreno sob o bordo exterior, retiradas da cartografia.

Km	Cota (m)
0+000,000	92,86
0+006,227	93,62
0+012,454	93,97
0+018,681	94,29
0+024,850	94,60
0+031,350	95,01
0+037,493	95,04
0+043,766	94,96
0+049,966	96,00
0+055,966	96,75
0+062,466	96,62
0+068,748	96,72
0+074,975	96,48
0+081,202	96,54
0+087,429	96,57
0+093,656	96,66
0+099,883	96,58
0+106,165	96,72
0+112,665	96,25
0+118,665	95,67
0+125,026	95,30
0+131,299	94,35
0+137,781	93,75
0+143,781	93,33
0+149,950	92,98
0+156,177	93,00
0+162,404	93,09
0+168,631	92,86

Quadro A7 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal da rotunda.

Km	Z _{terreno} (m)	Z _{rasante} (m)
0+000,000	92,86	94,488
0+006,250	93,62	95,761
0+012,500	93,97	95,709
0+018,750	94,29	95,658
0+025,000	94,61	95,607
0+031,250	95,00	95,738
0+037,500	95,04	95,988
0+043,750	94,96	96,238
0+050,000	96,00	96,488
0+056,250	96,74	96,820
0+062,500	96,62	96,823
0+068,750	96,72	96,825
0+075,000	96,48	96,827
0+081,250	96,54	96,830
0+087,500	96,57	96,832
0+093,750	96,66	96,835
0+100,000	96,58	96,837
0+106,250	96,71	96,839
0+112,500	96,26	96,632
0+118,750	95,67	96,382
0+125,000	95,30	96,132
0+131,250	94,36	95,882
0+137,500	93,78	95,632
0+143,750	93,33	95,382
0+150,000	92,98	95,149
0+156,250	93,00	94,927
0+162,500	93,09	94,706
0+168,631	92,86	94,488

Quadro A8 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 1.

Km	Z _{terreno} (m)	Z _{rasante} (m)
0+000,000	96,023	96,027
0+006,250	95,737	95,830
0+012,500	95,420	95,794
0+018,750	95,305	95,757
0+025,000	95,189	95,721
0+031,250	95,074	95,684
0+037,500	94,958	95,648
0+043,750	94,843	95,611
0+047,999	94,764	95,587

Quadro A9 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 1.

Km	Se _{ESQ}	Se _{DIR}
0+000,000	0,58%	-0,58%
0+007,680	2,50%	-2,50%
0+010,908	2,50%	-2,50%
0+020,908	0,00%	0,00%
0+030,908	-2,50%	2,50%
0+041,999	-2,50%	2,50%
0+047,999	-4,00%	4,00%

Quadro A10 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 2.

Km	Z _{terreno} (m)	Z _{rasante} (m)
0+000,000	101,195	101,195
0+006,250	100,574	100,573
0+012,500	100,231	99,952
0+018,750	99,996	99,690
0+025,000	99,761	99,457
0+031,250	99,274	99,223
0+037,500	98,740	98,989
0+043,750	98,646	98,755
0+050,000	98,532	98,522
0+056,250	98,396	98,288
0+062,500	98,261	98,054
0+068,750	97,977	97,820
0+075,000	97,568	97,587
0+081,250	97,487	97,353
0+087,500	97,349	97,119
0+093,750	96,890	96,885
0+096,296	96,703	96,821

Quadro A11 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 2.

Km	Se _{ESQ}	Se _{DIR}
0+000,000	0,89%	-0,89%
0+013,560	-2,50%	2,50%
0+036,836	-2,50%	2,50%
0+046,836	0,00%	0,00%
0+056,836	2,50%	-2,50%
0+078,846	2,50%	-2,50%
0+096,926	-2,02%	2,02%

Quadro A12 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 3.

Km	Z _{terreno} (m)	Z _{rasante} (m)
0+000,000	101,586	101,586
0+006,250	100,783	100,882
0+012,500	100,140	100,179
0+018,750	99,515	99,476
0+025,000	98,848	98,773
0+031,250	98,099	98,069
0+037,500	97,351	97,349
0+043,750	96,733	96,899
0+046,097	96,637	96,840

Quadro A13 – Pontos notáveis para o diagrama de sobrelevações do arruamento 3.

Km	Se _{ESQ}	Se _{DIR}
0+000,000	-0,50%	0,50%
0+006,676	-2,17%	-1,17%
0+012,000	-0,84%	-2,50%
0+015,352	0,00%	-2,50%
0+025,352	2,50%	-2,50%
0+044,017	2,50%	-2,50%
0+046,097	1,98%	-1,98%

Quadro A14 – Cotas do terreno e rasante, em intervalos de 6,25m, para a legenda do perfil longitudinal do arruamento 4.

Km	Z _{terreno} (m)	Z _{rasante} (m)
0+000,000	87,715	87,707
0+006,250	87,957	88,158
0+012,500	88,199	88,658
0+018,750	88,437	89,158
0+025,000	88,656	89,658
0+031,250	88,875	90,158
0+037,500	89,093	90,658
0+043,750	89,312	91,158
0+050,000	89,531	91,658
0+056,250	89,750	92,158
0+062,500	89,968	92,658
0+068,750	90,187	93,158
0+075,000	90,406	93,658
0+081,250	91,419	94,158
0+087,500	91,752	94,658
0+093,750	92,085	95,097
0+100,000	92,417	95,254
0+100,893	93,181	95,276

Quadro A15 – Pontos notáveis para o diagrama de sobreelevações do arruamento 4.

Km	Se _{ESQ}	Se _{DIR}
0+000,000	-1,32%	1,32%
0+004,720	-2,50%	0,14%
0+015,280	-2,50%	-2,50%
0+050,090	-2,50%	-2,50%
0+060,090	0,00%	-2,50%
0+070,090	2,50%	-2,50%
0+094,893	2,50%	-2,50%
0+100,893	4,00%	-4,00%

9.3. PEÇAS DESENHADAS

Desenho nº1 – Planta de implantação, escala 1:500

Desenho nº2 – Planta de implantação, escala 1:250

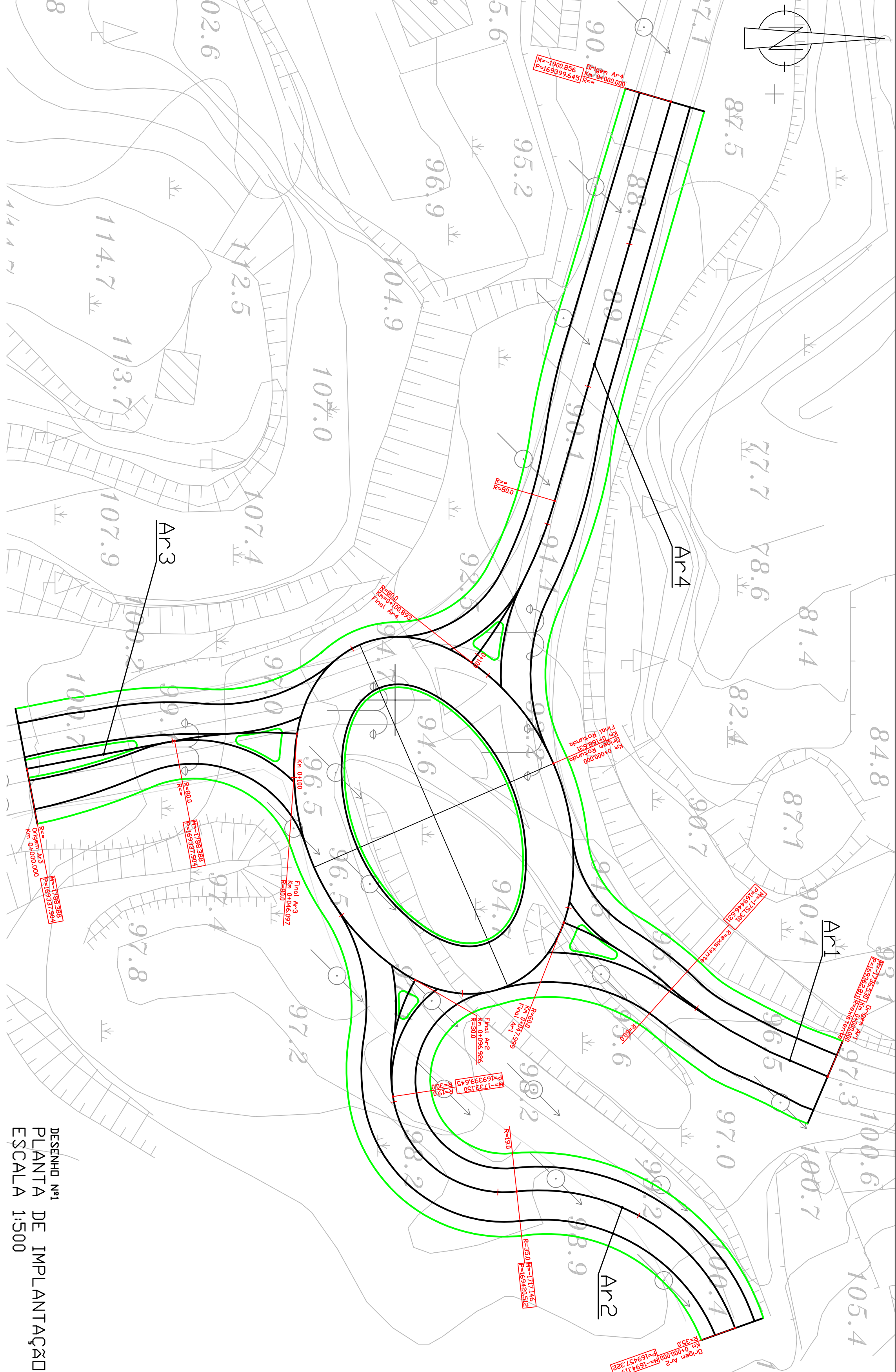
Desenho nº3 – Perfil longitudinal arruamento 1, escala 1:1000/1:100

Desenho nº4 – Perfil longitudinal arruamento 2, escala 1:1000/1:100

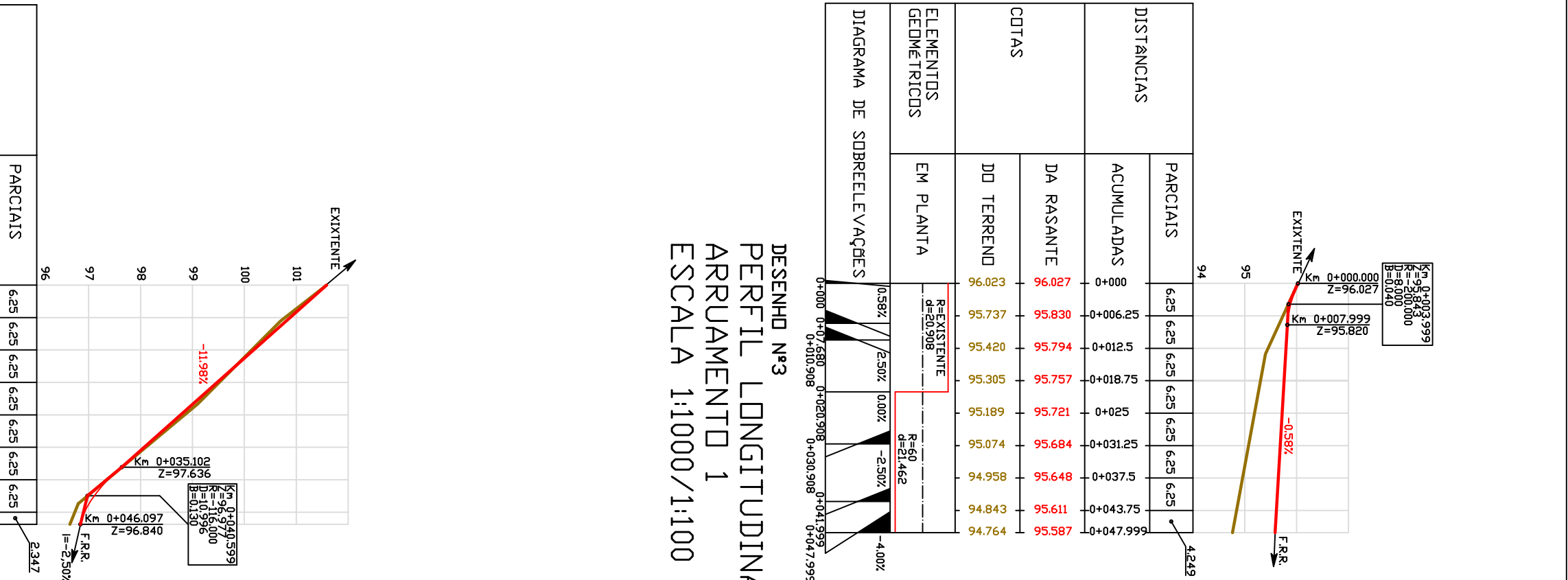
Desenho nº5 – Perfil longitudinal arruamento 3, escala 1:1000/1:100

Desenho nº6 – Perfil longitudinal arruamento 4, escala 1:1000/1:100

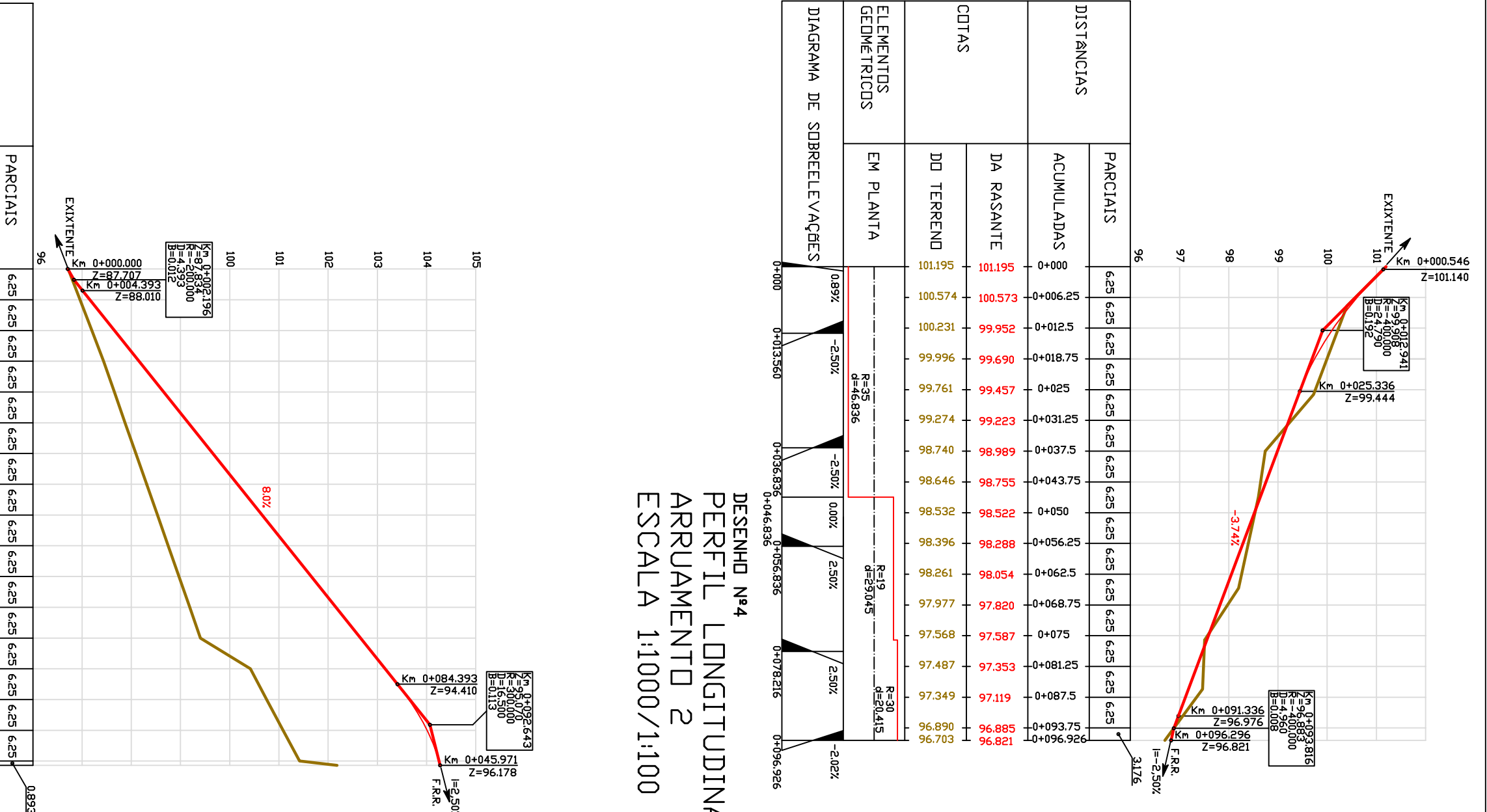
Desenho nº7 – Perfil longitudinal rotunda, escala 1:1000/1:100



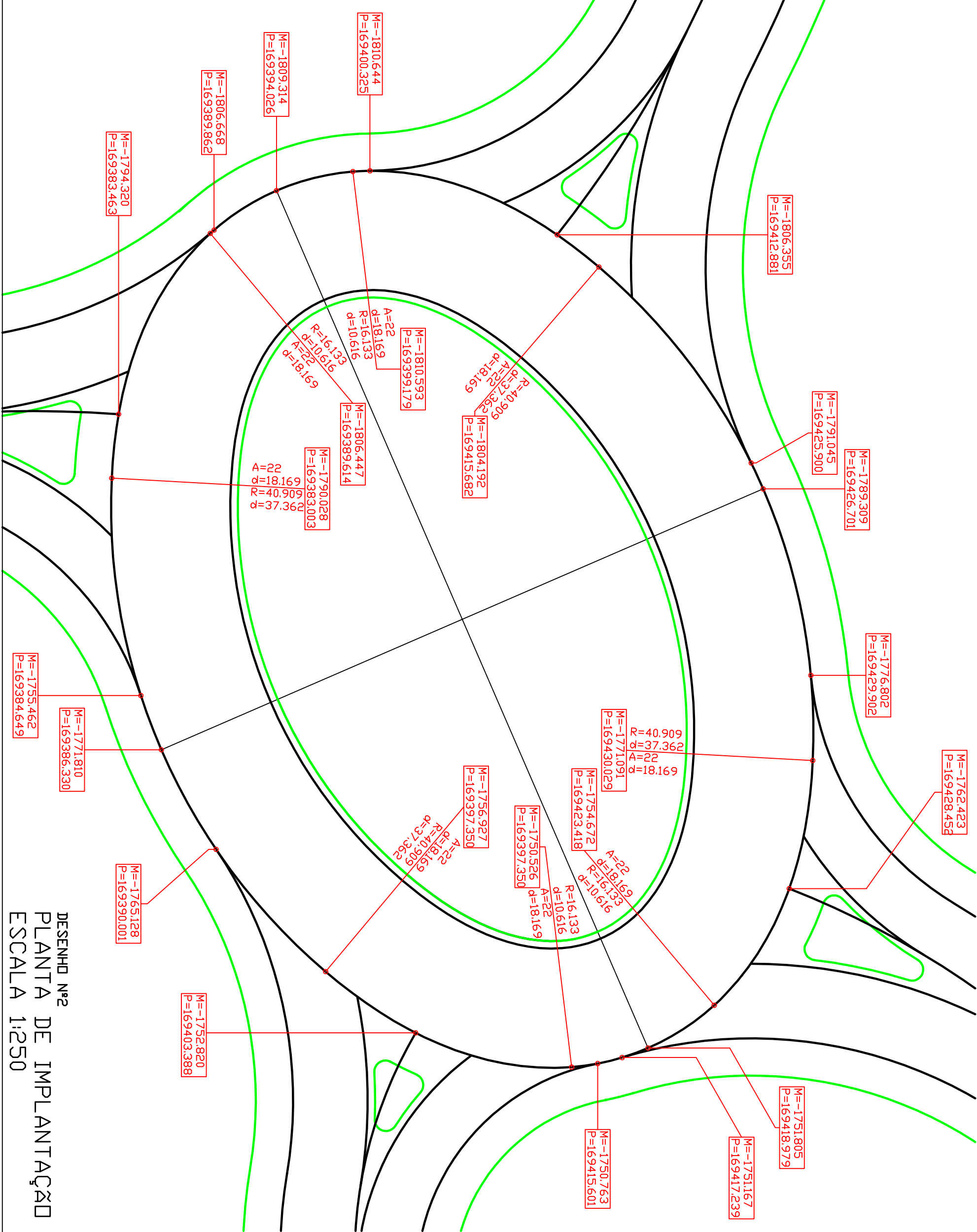
DESENHO Nº1
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
ESCALA 1:500



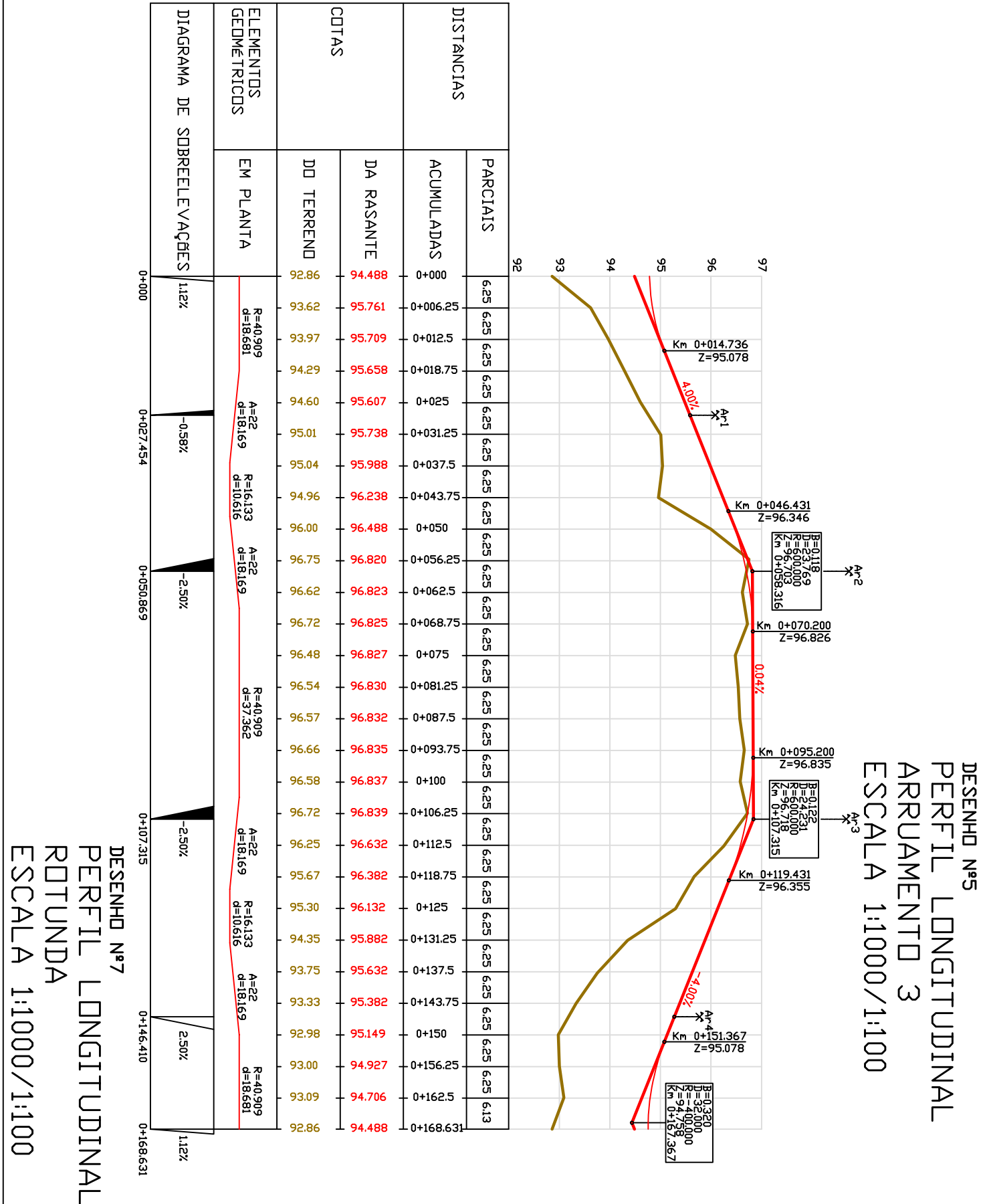
DESENHO Nº3
PERFIL LONGITUDINAL
ARUAMENTO 1
ESCALA 1:1000/1:100



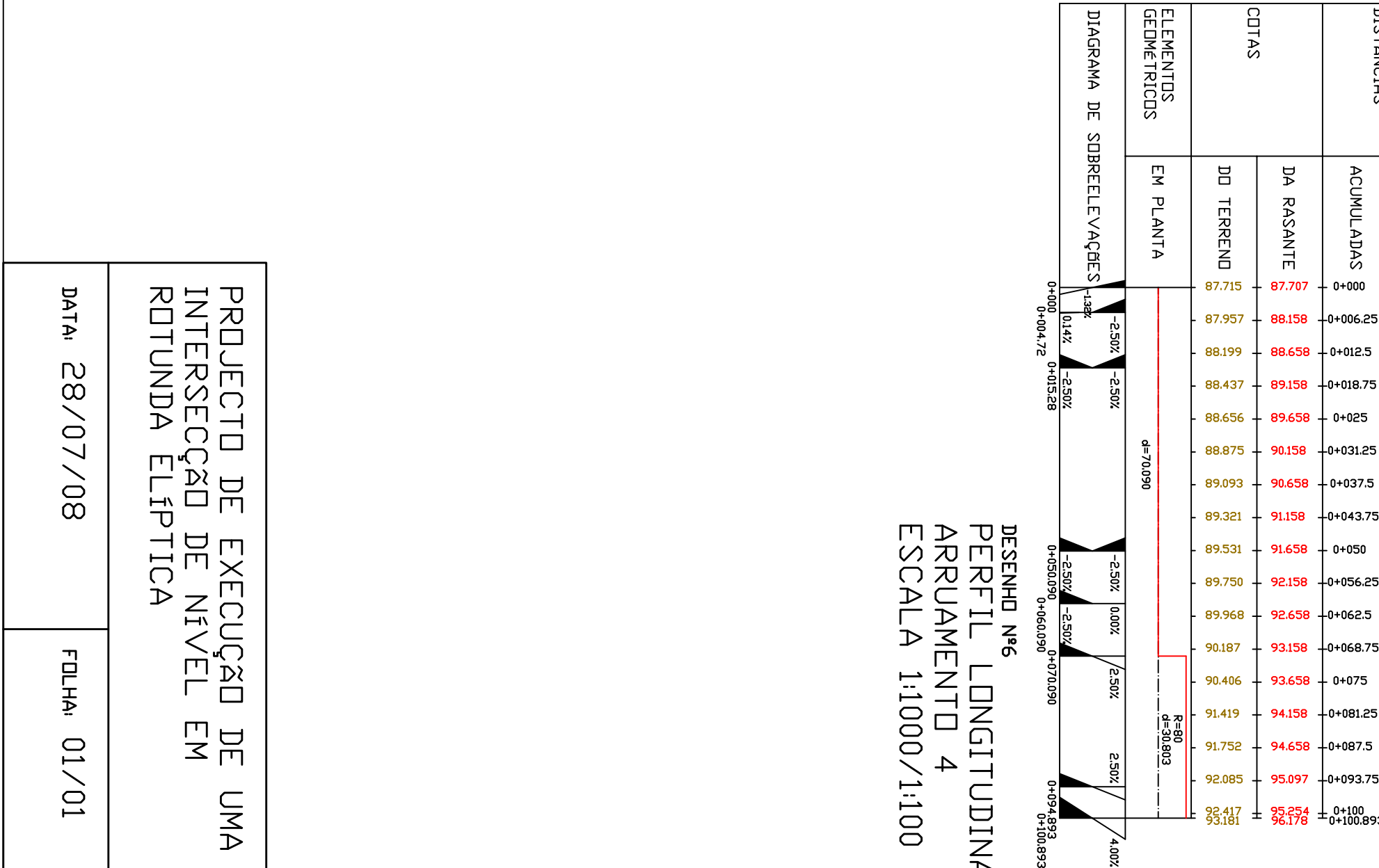
DESENHO Nº4
PERFIL LONGITUDINAL
ARUAMENTO 2
ESCALA 1:1000/1:100



DESENHO Nº2
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
ESCALA 1:250



DESENHO Nº5
PERFIL LONGITUDINAL
ARUAMENTO 3
ESCALA 1:1000/1:100



DESENHO Nº6
PERFIL LONGITUDINAL
ARUAMENTO 4
ESCALA 1:1000/1:100

BIBLIOGRAFIA

- [1] Prof. Dr. Adalberto França, *Sebenta de Vias de Comunicação 1*. Faculdade de Engenharia, Porto.
- [2] Prof. Dr. Adalberto França, *Sebenta de Vias de Comunicação 2*. Faculdade de Engenharia, Porto.
- [3] Prof. Dr. Adalberto França, *Tópicos e Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos*.
- [4] *Norma de Traçado*. JAE, 1992.
- [5] *Norma de Intersecções*. JAE, P5/90.
- [6] *Norma de Nós de Ligação*. JAE, P6/90.
- [7] *Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários*. Instituto da Construção, 1993.
- [8] *Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. Julho 1995.
- [9] *Apontamentos de Pavimentos I*.
- [10] *Apontamentos de Pavimentos II*.

