

Topografia Aplicada – vias de comunicação

O movimento de pessoas e mercadorias é o reflexo das diferentes actividades existentes numa sociedade, sendo um factor determinante para a qualidade de vida das pessoas.

O sistema de transportes tem como elementos essenciais as pessoas/mercadorias, os veículos e as infra-estruturas utilizadas no transporte.

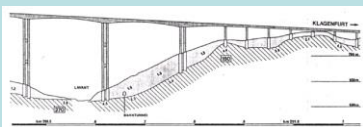
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O traçado de uma via de comunicação acompanha a topografia do terreno tendo uma configuração espacial complexa que deve ser representada quer em planta quer em perfil longitudinal quer em perfil transversal.

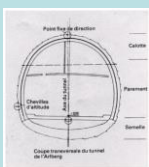


Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A exceção é o caso das **pontes**

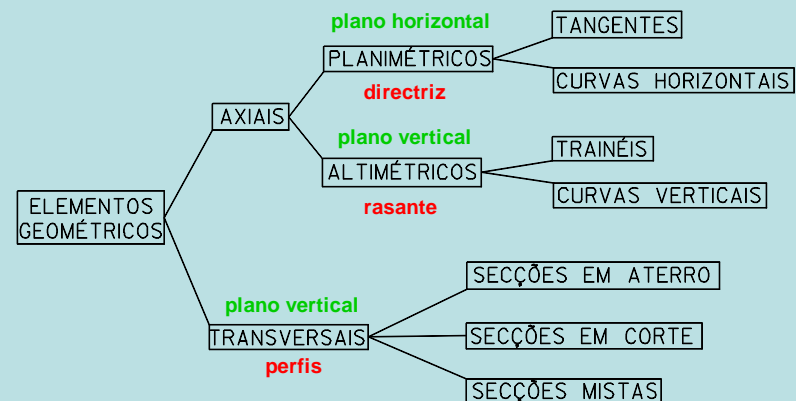


e dos **túneis**.

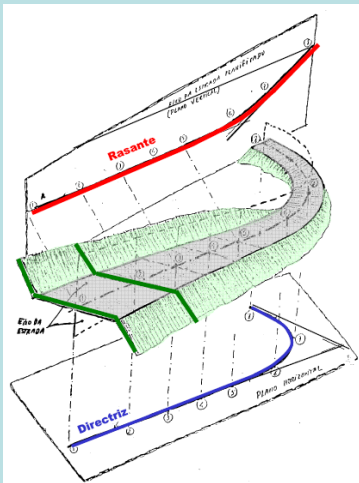


Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A geometria de uma estrada fica completamente determinada se forem conhecidas a **directriz (eixo em planta)**, a **rasante (eixo em perfil longitudinal)** e os respectivos **perfis transversais**.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Uma superfície regrada é gerada por uma linha recta, chamada de geratriz, que se move no espaço na direcção dada por uma ou mais linhas rectas ou curvas.

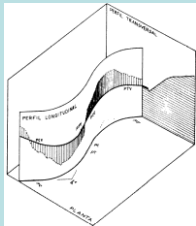
Eixo da estrada: **superfície** regrada cuja directriz vertical coincide sucessivamente com o eixo dos perfis transversais

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A definição do **traçado em planta** refere-se sempre a uma **directriz** que consiste no lugar geométrico da projectão ortogonal sobre o plano horizontal, dos pontos que, em cada secção transversal, coincidem com o seu eixo, o qual, salvo justificação em contrário, deve ser:

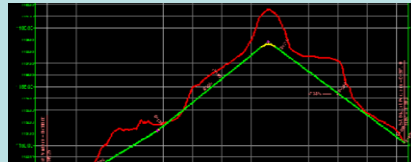
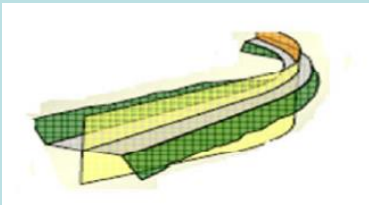
- o centro da faixa de rodagem nas estradas com duas vias;
- o centro separador, se este for de largura constante, nas estradas com dupla faixa de rodagem.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



eixo do traçado

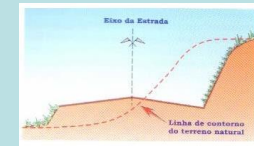
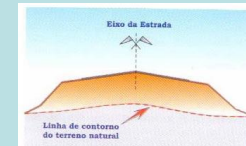
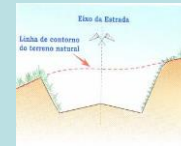
A representação do **traçado em perfil longitudinal** define a **rasante**, através da **planificação** do eixo do traçado.



perfil longitudinal do terreno
rasante

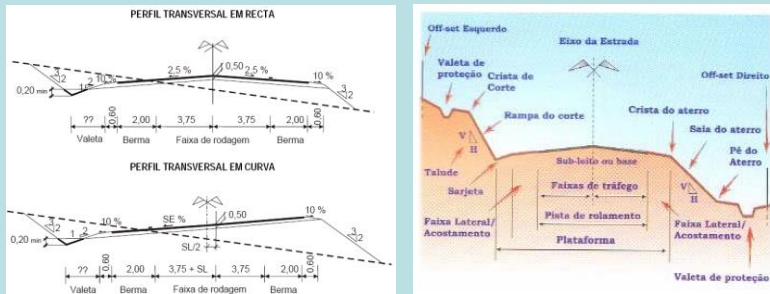
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Uma **secção transversal** é a representação geométrica, no plano vertical, de alguns elementos dispostos transversalmente, em determinados pontos do eixo da estrada. Estas secções podem ser em corte, em aterro ou mistas.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Perfis transversais tipo: é o perfil transversal que vai dar **largura** à estrada, projectada até aqui como uma linha



Nos alinhamentos rectos a inclinação transversal da estrada deve-se exclusivamente à drenagem de águas pluviais. De acordo com a norma, essa inclinação deverá ser de **2.5%** nos pavimentos betuminosos e **2%** nos pavimentos em betão de cimento.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As fases a considerar num projecto de via de comunicação são as seguintes:

1. programa preliminar
2. programa base
3. estudo prévio
4. anteprojecto
5. projecto

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Programa preliminar: definem-se os objectivos da obra, a sua localização, estabelecida por meio de elementos topográficos adequados e as características gerais a que deve satisfazer.



O IP3 - Itinerário Principal da Beira Litoral é um Itinerário Principal de Portugal. Liga a fronteira de Vila Verde da Raia à cidade portuguesa da Figueira da Foz servindo os distritos de Vila Real, Viseu e Coimbra. Possui uma extensão de 279 km, dos quais 202 km em perfil de autoestrada e os restantes 77 km em perfil de via rápida, repartidos da seguinte forma:

- Vila Verde da Raia - Viseu (A25) — troço em perfil de autoestrada, pelo que é designado e está sinalizado como A24. Com uma extensão de 162 km foi concluído em 2010. A maior parte deste troço está concessionado à Norscut.
- Viseu (A25) - Coimbra (A1) — troço em perfil de via rápida. Com uma extensão de 77 km foi concluído em 1998. A maior parte deste troço está concessionado à Infraestruturas de Portugal.
- Figueira da Foz - Coimbra (A1) — troço em perfil de autoestrada, pelo que é designado e está sinalizado como A14. Com uma extensão de 40 km foi concluído em 2002. A maior parte deste troço está concessionado à Brisa.

A construção do IP3 já estava prevista no Plano Rodoviário Nacional de 1985 e ficou totalmente concluída em 2010, com a inauguração da ligação de Vila Verde da Raia à fronteira com Espanha. O troço entre Viseu e Coimbra (o único em perfil de via expressa) tem apresentado elevados níveis de sinistralidade rodoviária desde a sua abertura, pelo que já foram apresentados vários planos para a sua substituição por uma autoestrada. O troço entre Vila Verde da Raia e Coimbra integra a Estrada Europeia E 801.

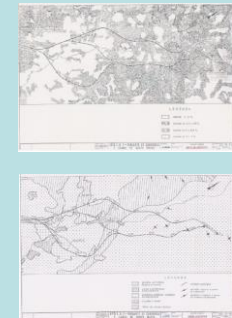
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Programa base: é efectuada uma análise conducente a estudos de viabilidade técnica e económica.

Nesta fase pode ainda não existir uma solução única, sendo consideradas e analisadas as várias soluções possíveis (solução base e soluções alternativas), dando as peças desenhadas (utiliza-se normalmente a cartografia 1/25.000 existente) uma ideia muito geral dos traçados;



Programa base à escala 1/25.000 contendo várias variantes: **Carta de Ocupação do Solo**, **Carta de Declives**, **Carta Capacidade de Uso do Solo**, **Carta Geológica**



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Estudo prévio: é constituído por peças escritas (memória descritiva e justificativa com volumes separados para cada uma das especialidades) e por peças desenhadas (planta do traçado, perfil longitudinal, perfil transversal tipo) e contempla o estudo da solução base e de soluções alternativas a escalas adequadas (geralmente **1/5.000**);



Voo realizado ao longo do traçado previsto

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Anteprojecto: diferencia-se do estudo prévio por envolver uma análise sobre elementos cartográficos e topográficos mais detalhados, em geral às escalas **1/1.000** ou **1/2.000**, efectuando-se uma definição e um dimensionamento detalhados da obra;

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Projecto: é o elemento posto a concurso, incluindo peças escritas e desenhadas desenvolvidas a um nível mais detalhado do que o considerado nas fases precedentes, nomeadamente no que se refere ao fim a que se destina, à sua localização, interligações com outras obras, análise da forma como se deu satisfação ao programa base, fisiografia e condições topográficas, descrição do traçado em planta e em perfil longitudinal (directriz e rasante) e sua integração nos condicionamentos locais existentes ou previstos, perfil transversal adoptado e sua justificação, condições geológicas e considerações geotécnicas, descrição das soluções projectadas e satisfação de acordo com o articulado legal vigente para as várias especialidades.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As peças desenhadas incluem a **planta do traçado**, o **perfil longitudinal da rasante**, o **perfil transversal tipo**, a **planta de piquetagem** que permite implantar a obra no terreno, a **planta de expropriações** e ainda a representação de todos os pormenores necessários à compreensão, implantação e execução da obra (**dispositivos de drenagem superficial e profunda**, **senalização horizontal e vertical**, **vedações**, **obras de arte**, etc.).

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As **peças** que constituem um projecto para o caso de um IP ou um IC são:

1. volume síntese de apresentação geral do lanço ou sub-lanço
2. implantação e apoio topográfico
3. estudo geológico e geotécnico
4. traçado geral
5. nós de ligação
6. restabelecimentos, serventias e caminhos paralelos
7. drenagem
8. pavimentação
9. integração paisagística
10. equipamentos de segurança
11. sinalização
12. portagens
13. equipamentos de contagem de tráfego e circuitos de TV
14. iluminação
15. vedações
16. serviços afectados
17. obras de arte correntes
18. obras de arte especiais
19. túneis
20. centros de assistência e manutenção
21. áreas de serviço e áreas de repouso
22. projectos complementares
23. expropriações
24. relatório de conformidade com a declaração de impacte ambiental

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

CUSTOS DE OPERAÇÃO

Os custos de operação podem ser decompostos em três tipos:

- *custos de operação propriamente ditos, que incluem, basicamente, custos com pessoal, custos com energia, bem como custos com a gestão e com o material corrente. Trata-se de custos recorrentes;
- *custos anuais recorrentes de manutenção;
- *custos de grandes reparações, bem como os custos de substituição dos equipamentos de acordo com a vida útil respetiva e o seu estado durante a vida do túnel. Estes custos não são recorrentes e dependem dos equipamentos, da respetiva qualidade e das condições de manutenção, a contar desde o décimo ou o décimo segundo ano após a entrada em serviço do túnel.



<https://tunnels.piarc.org/pt/aspectos-transversais-questoes-estrategicas/custos-e-aspectos-financeiros>

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As vias de comunicação terrestres (rodoviárias e ferroviárias) devem, tanto quanto possível, permitir o transporte de pessoas e mercadorias utilizando:

1. a menor quantidade possível de energia (gastando o mínimo de combustível)
2. os menores custos de construção, de manutenção e de operação
3. o percurso mais rápido (na maior parte dos casos o mais curto) igualmente um objectivo,

Estes requisitos são normalmente incompatíveis.

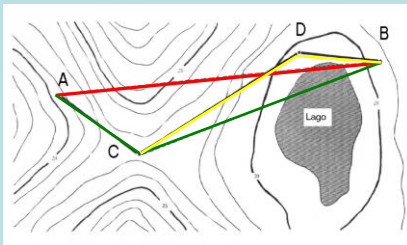
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Existem diversos factores que não permitem projectar e construir uma via de comunicação segundo a distância **mais curta** entre dois pontos A e B:

1. obstáculos naturais (montanhas, vales, rios, lagos, etc.)
2. terrenos particulares ou reservados (terrenos com boa aptidão agrícola, etc.)
3. fornecimento de acesso a áreas residenciais ou outras

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Partindo dos pontos extremos A e B (pontos de passagem obrigatória ou pontos forçados), definem-se, no caso de não ser viável um traçado rectilíneo entre estes pontos, as posições mais favoráveis à passagem da via de comunicação:

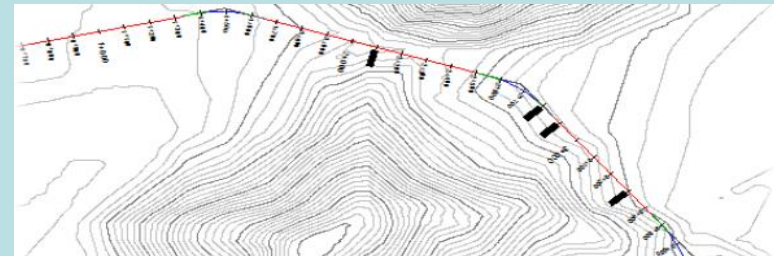


caso a dificuldade resida na presença de montanhas, é determinado um ponto forçado de passagem C de tal forma que o desnível a vencer seja o menor possível, fazendo com que a **directriz AB** se divida nos

segmentos de recta AC e CB; se entre C e B existir outro obstáculo, como um lago, define-se outro ponto forçado de passagem D. Desta forma, a sucessão de pontos forçados de passagem define uma **poligonal** que indicará a direcção geral do traçado.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

De um modo geral, não é possível dizer que um determinado projecto seja o **único** conveniente para um dado local, havendo grande elasticidade na adaptação do traçado à situação particular (topográfica, financeira, integração no meio ambiente, etc.),



embora existam princípios fundamentais reconhecidos como básicos (**normas de traçado**) que devem ser respeitados nas diversas **variantes** consideradas.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Em Portugal, no projecto de **estradas novas** e na reconstrução e ampliação de **estradas já existentes**, aplica-se a **Norma de Traçado da ex-JAE (P3/94)**.

O objectivo desta norma é que o estudo dos projectos seja efectuado segundo critérios uniformes que permitam obter uma rede bem estruturada e facilitem o comportamento correcto dos condutores.

Pretende-se a construção de **estradas seguras**, que **satisfaçam a procura de tráfego**, que se **integrem no meio ambiente** e com **custos aceitáveis** de construção e conservação.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

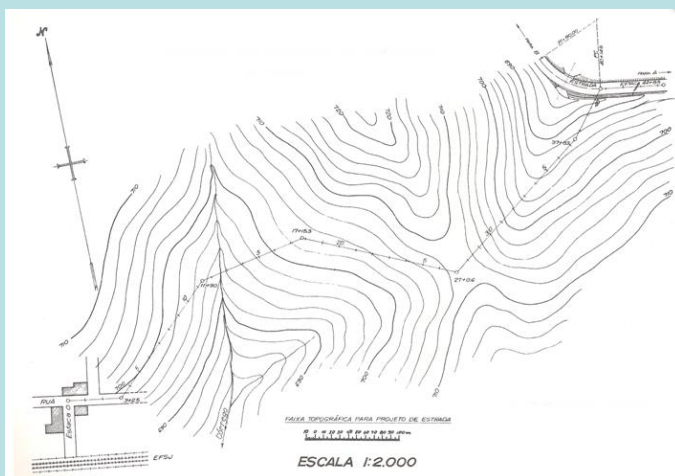
Norma de Traçado

Norma de Interseções

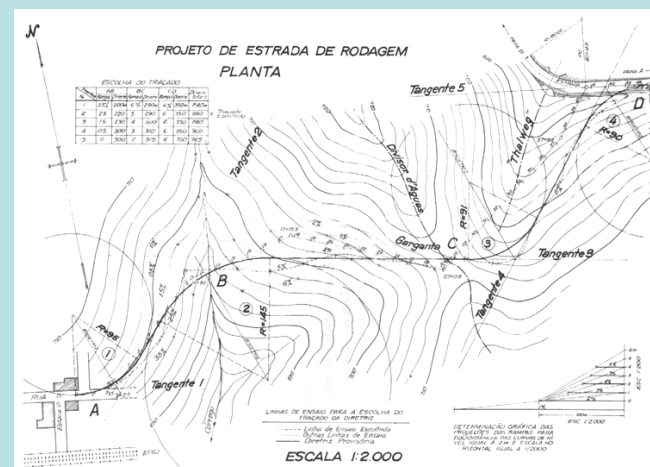
Norma de Nós de Ligação

adequar exigências ao nível de **conforto** e **segurança** aos raios mínimos das curvas, ao parâmetro das clotóides, à sobre-elevação, à sobrelargura, à distância de visibilidade, aos raios mínimos das concordâncias verticais e ao tipo de material de desgaste a empregar na pavimentação

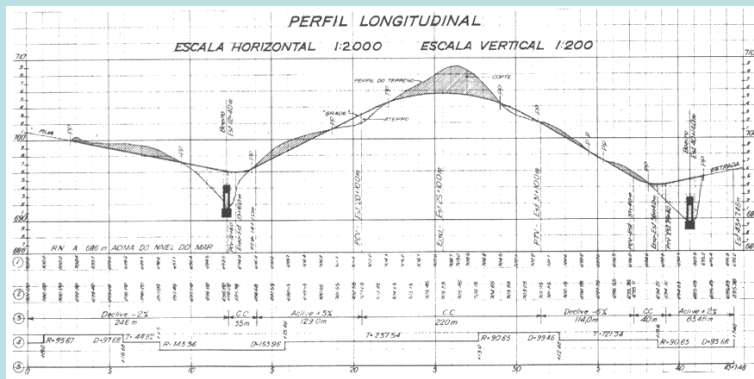
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

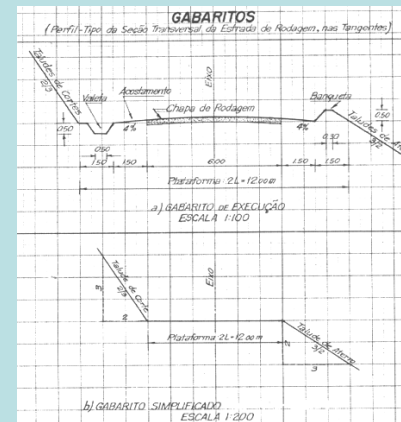


Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Exemplo de projecto de **rasante** (perfil longitudinal)

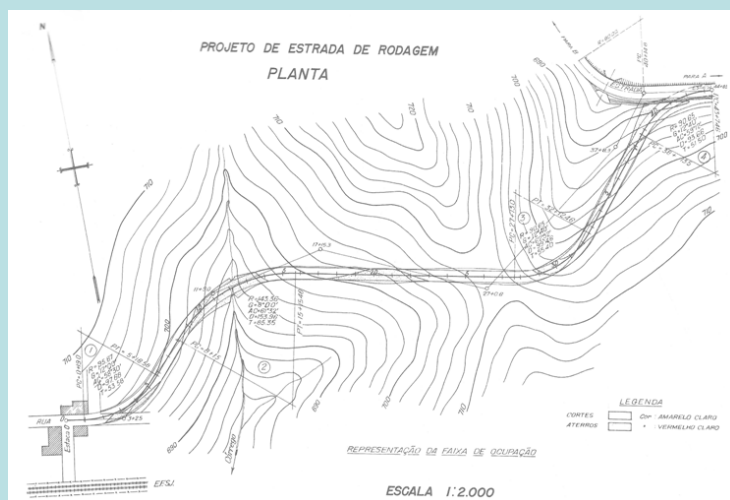
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Exemplo de projecto de **perfil transversal**

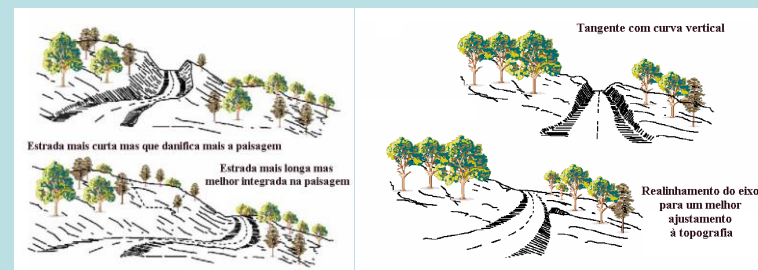
É o perfil transversal que vai dar largura à estrada, projectada como uma linha. Além da berma pavimentada, há a considerar uma zona exterior a esta (0.75 m) e a ligação entre a berma e o talude ou a valeta (0.60 m).

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



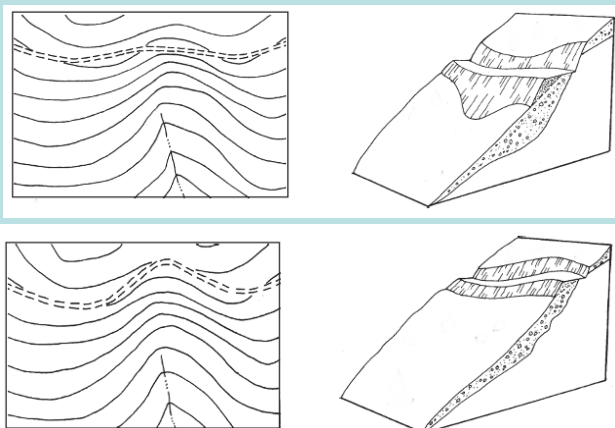
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Em qualquer estrada é importante que o seu aspecto seja agradável. Desta forma, a directriz, a rasante e o perfil transversal devem **harmonizar-se com o meio ambiente**, devendo a destruição de vegetação existente ser minimizada, assim como o efeito das escavações e aterros.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Esta harmonização – **coordenação** - entre a representação em planta, em perfil longitudinal e em perfil transversal implica um **processo iterativo**, em que o projecto vai sendo recalculado à medida que se vão introduzindo alterações nalgum dos elementos.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Podendo o traçado de uma via de comunicação ter dezenas ou centenas de quilómetros, atravessando **zonas planas** e **zonas montanhosas**, é importante garantir a **homogeneidade** ou **uniformidade** do traçado em toda a sua extensão.



Homogeneidade do traçado: **manutenção ou transição suave das características geométricas** da estrada de modo a assegurar condições de segurança ao utente da via.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A utilização de **critérios homogêneos ou uniformes** permite obter uma rede **bem estruturada**, devendo ser tomados em consideração:

1. a capacidade do condutor em avaliar as condições de utilização da estrada (e aperceber-se atempadamente da existência de um perigo potencial, actuando de forma conveniente para evitá-lo)
2. os efeitos que a estrada tem nos ocupantes do veículo, de forma a minimizar a ocorrência de acidentes.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O objectivo de um projecto é garantir a concepção de estradas:

1. **seguras** (selecção óptima da directriz e da rasante, do tipo de revestimento do pavimento, etc.)
2. **cómodas**, que satisfaçam a procura e o escoamento do tráfego
3. que se **integrem no meio ambiente** nas melhores condições
4. com **custos** de construção e manutenção aceitáveis

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As principais **condicionantes** do traçado são:

1. segurança e comodidade
2. características da região
3. topografia
4. clima
5. hidrologia
6. geologia e geotecnia
7. ocupação do solo
8. paisagismo
9. aspectos económicos

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

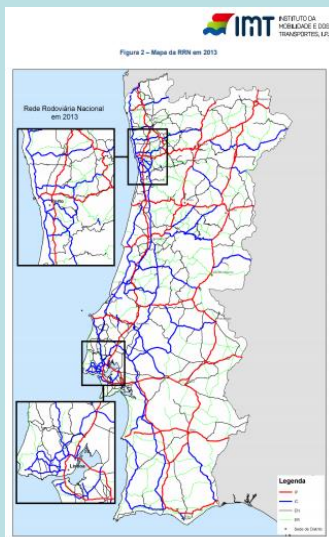
As estradas existentes em Portugal Continental integram-se em redes viárias **urbanas**, **interurbanas** (estradas **nacionais** e **municipais**) ou **rurais** (estradas florestais, militares, etc.).

Actualmente, a rede nacional integra apenas duas categorias de estradas:

1. a **rede fundamental** (Itinerários Principais, longitudinais e transversais), dela fazendo parte integrante as auto-estradas, que são na sua grande maioria concessionadas
2. a **rede complementar** (Itinerários Complementares e restantes estradas nacionais), sendo ambas administradas pela **EP-Estradas de Portugal**.

As estradas e caminhos municipais e as vias urbanas estão sob **administração local**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



A Rede Rodoviária Nacional, com referência ao final de 2013, apresentava uma extensão total construída de cerca de 11 500 km.

A rede fundamental tem a extensão de cerca de 2600 km, integrando 9 Itinerários Principais, 3 longitudinais e 6 transversais.

A rede Complementar tem a extensão de cerca de 8900 km, integrando os Itinerários Complementares e as restantes estradas nacionais.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A selecção das características técnicas relativas a cada projecto deve ser efectuada em função:

1. do **nível de serviço**
2. do **volume horário** de projecto no ano horizonte.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O **nível de serviço** é uma medida das condições de circulação - velocidade, segurança, custo de operação e comodidade - asseguradas aos utilizadores por uma infraestrutura rodoviária, sendo normalmente caracterizado pela velocidade de operação.

Actualmente, o nível de serviço de uma estrada é definido com base na perda de tempo máxima admissível e na **velocidade média do tráfego**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O nível de serviço “A” permite uma circulação livre, pelo que os condutores não são afectados uns pelos outros, sendo a liberdade de escolha da velocidade desejada extremamente elevada. O nível de conforto e conveniência proporcionado é excelente.

O nível de serviço “B” permite correntes de tráfego estáveis mas começa a sentir-se o efeito da presença de outros veículos. A escolha da velocidade desejada não é praticamente afectada, mas há uma diminuição da liberdade de manobra, pois a presença de outros veículos condiciona o comportamento individual.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O nível de serviço “C” permite correntes de tráfego estáveis, mas as condições operacionais dos utilizadores começam a ser seriamente afectadas pela interacção dos outros condutores. A selecção da velocidade é afectada e as manobras requerem grande atenção dos condutores.

O nível de serviço “D” permite correntes de tráfego ainda estáveis mas os volumes são elevados. A velocidade e a liberdade de manobra são severamente restringidas e o nível de conforto e conveniência é diminuto. Um pequeno aumento do volume de tráfego ocasiona normalmente grandes dificuldades de circulação.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O nível de serviço “E” permite uma velocidade baixa mas uniforme para todos os veículos e o conforto e conveniência são extremamente diminutos, sendo a frustração elevada. A circulação a este nível é instável, pelo que um pequeno aumento do volume ou a menor perturbação na corrente de tráfego provocará a interrupção da circulação.

O nível de serviço “F” corresponde à circulação forçada com interrupções. Este nível de serviço verifica-se quando o volume de tráfego excede a capacidade da estrada, provocando a formação de filas de espera. As condições operacionais caracterizam-se por pára-arranca, sendo fortemente instáveis.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Nível de Serviço A



Nível de Serviço C



Nível de Serviço E



Nível de Serviço B



Nível de Serviço D



Nível de Serviço F

Nível de serviço (ou densidade de fluxo = fluxo horário/velocidade média)

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Os **Itinerários Principais** devem assegurar o nível de serviço “**B**”, para garantirem correntes de tráfego estáveis, enquanto que os **Itinerários Complementares** devem assegurar o nível de serviço “**C**”.

| Nível de serviço | Perdas de tempo | Velocidade média |
|------------------|-----------------|------------------------|
| B | $\leq 45\%$ | $\geq 80 \text{ km/h}$ |
| C | $\leq 60\%$ | $\geq 70 \text{ km/h}$ |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O **volume horário** é o número máximo de veículos que podem circular num determinado lanço de uma estrada, num sentido ou em dois, durante uma hora, **sem que** se alterem as características da circulação correspondentes a esse nível de serviço.

A cada nível de serviço corresponde um volume horário, o qual depende das características geométricas da estrada e da composição do tráfego.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O volume horário de projecto deve ser definido para o **ano horizonte**, o qual normalmente corresponde ao múltiplo de cinco mais próximo do ano que se obtém adicionando vinte anos à data prevista para a abertura da estrada ao tráfego.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **análise e previsão do tráfego**, efectuada a partir de estudos de tráfego, são fundamentais para efeitos de **planeamento e ordenamento da rede viária**, tendo em vista a localização do traçado das estradas.

Para o efeito, é essencial o conhecimento rigoroso dos volumes de tráfego e respectivas variações durante certos períodos do ano e durante as várias horas do dia.

Com a finalidade de se calcularem os volumes de tráfego em determinados pontos, utilizam-se **contagens de tráfego** e/ou **inquéritos**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **velocidade** praticada pelos condutores é o parâmetro fundamental para a selecção e controlo dos **elementos geométricos do traçado** (raios mínimos das curvas horizontais, parâmetros mínimos das clotóides, inclinação transversal nas curvas, distâncias de visibilidade, raios mínimos das curvas verticais) pois permite ter em consideração critérios de economia, segurança e comodidade, sendo influenciada por vários factores como a visibilidade, a curvatura, o perfil transversal, intersecções e acessos marginais e o estado do pavimento.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Segundo o critério de segurança, a **velocidade base (ou velocidade de projecto)** é definida como sendo a velocidade máxima que deverá ser assegurada ao longo de **todo o traçado**, dependendo da topografia do terreno, do volume de tráfego e do tipo de itinerário pretendido.

Em Portugal, no estudo e concepção de uma estrada, a velocidade base é a velocidade que é estabelecida em primeiro lugar, resultando da função dessa estrada na rede nacional, permitindo definir a maioria das **características geométricas** do projecto e conseqüentemente **coordenar as várias componentes**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Velocidade Base em função do Tipo de Estrada (JAE, 1994)

| Tipos de Estrada | Velocidade Base (km/h) | | | | |
|----------------------------|------------------------|-------|-----|-------|-------|
| | 140 | 120 | 100 | 80 | 60 |
| Itinerários Principais | × (a) | × (b) | × | × (c) | |
| Itinerários Complementares | | × (b) | × | × | × (c) |
| Outras Estradas | | | × | × | × |

(a) Só em auto-estrada

(b) Só em estrada com faixas de rodagem unidireccionais

(c) No caso de estradas com faixas de rodagem unidireccionais deverá ser devidamente justificado o recurso a esta velocidade

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **velocidade específica** é o elemento que define a **dinâmica** do traçado (por comparação dos seus valores em elementos consecutivos), ou seja, é a velocidade máxima que pode ser atingida com segurança em qualquer elemento do traçado, considerado **isoladamente**, sendo que a velocidade específica correspondente a dois elementos consecutivos do traçado não deverá diferir de mais de **20 km/h**, de forma a garantir a respectiva **homogeneidade**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Velocidade específica nas curvas (JAE, 1994)

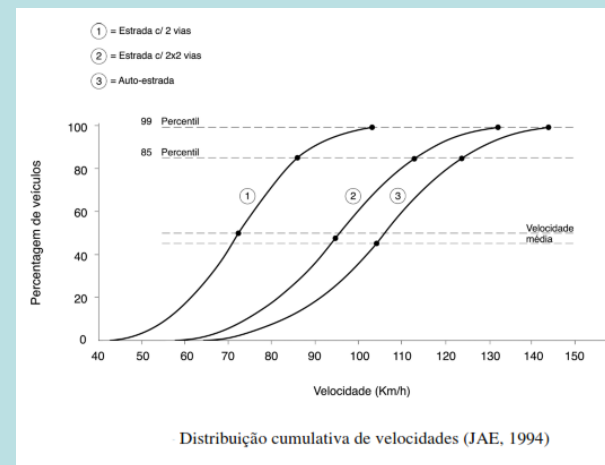
| Estrada com 2 vias | | Estrada com 2 x 2 vias | |
|--------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Raio (m) | Velocidade Específica (km/h) | Raio (m) | Velocidade Específica (km/h) |
| 180 | 70 | - | - |
| 210 | 75 | - | - |
| 240 | 80 | - | - |
| 280 | 85 | - | - |
| 320 | 90 | 320 | 90 |
| 370 | 95 | 370 | 95 |
| 420 | 100 | 420 | 100 |
| 470 | 105 | 470 | 105 |
| 530 | 110 | 530 | 110 |
| 580 | 115 | 580 | 115 |
| ≥ 620 | 120 | 620 | 120 |
| - | - | 710 | 125 |
| - | - | ≥ 780 | 130 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A partir da velocidade específica define-se a **velocidade do tráfego**, que é a velocidade específica que é excedida somente por 15% dos veículos, pois verificou-se que velocidades superiores a esta são perigosas para as condições existentes, estabelecendo o limite de segurança rodoviária.

Esta velocidade é a mais representativa das condições reais de circulação pois é aquela que **85% dos condutores adoptam** tendo em conta o traçado e o seu meio envolvente.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Velocidade do tráfego nas estradas nacionais (JAE, 1994)

| Velocidade Base | Velocidade de Tráfego |
|-----------------|-----------------------|
| V_B (km/h) | V_T (km/h) |
| 60 | 80 |
| 80 | 100 |
| 100 | 120 |
| 120 | 130 |
| 140 | 140 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Segundo a norma, **na definição das características geométricas** de uma estrada, deve ser considerada não apenas a **velocidade base** mas também a **velocidade de tráfego** pois a velocidade dos condutores ao longo do percurso varia em função das características do traçado.

Velocidade a considerar nos vários elementos do traçado (JAE, 1994)

| Elementos do Traçado | Velocidade | |
|---|-----------------|---------------------------|
| | Velocidade base | Velocidade do Tráfego (a) |
| Raio mínimo em planta | × | - |
| Trainel máximo | × | - |
| Perfil transversal tipo | × | - |
| Distâncias de visibilidade | - | × |
| Raio mínimo das concordâncias verticais | - | × |

(a) Esta velocidade só será considerada nos IPs e ICs

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Segundo a Norma de Traçado (P3/94) considera-se necessário garantir quatro condições básicas **para que o traçado em planta seja seguro e cómodo:**

- a) homogeneidade
- b) consistência da velocidade do tráfego (as diferenças entre as várias secções não devem exceder 10 km/h)
- c) compatibilidade entre a velocidade base e a velocidade do tráfego
- d) distâncias de visibilidade compatíveis com a velocidade do tráfego

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **visibilidade** é um parâmetro de fundamental importância para a segurança e comodidade da condução numa estrada, devendo o projectista assegurar a **distância de visibilidade suficiente** para que os condutores possam controlar a velocidade dos respectivos veículos, evitando chocar com um obstáculo inesperado na faixa de rodagem.

A **distância de visibilidade** é **a extensão contínua da estrada visível pelo condutor**, devendo ser considerados três tipos de visibilidade: de **paragem**, de **decisão** e de **ultrapassagem**, não só quando a directriz é recta mas também ao longo de uma curva .

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

| Velocidade (km/h) | Distância de paragem (m) |
|-------------------|--------------------------|
| 40 | 40 |
| 50 | 60 |
| 60 | 80 |
| 70 | 100 |
| 80 | 120 |
| 90 | 150 |
| 100 | 180 |
| 110 | 220 |
| 120 | 250 |
| 130 | 320 |
| 140 | 390 |

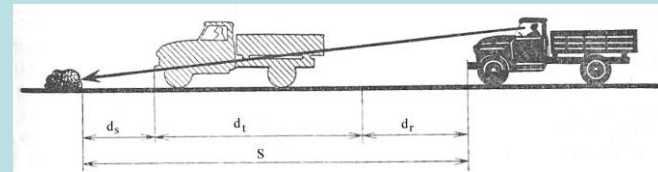
Distâncias de visibilidade de paragem mínimas

Uma vez que a distância de travagem varia em função da **inclinação dos trainéis**, aumentando nos trainéis descendentes e diminuindo nos trainéis ascendentes, estabelecem-se as seguintes regras:

- em trainéis **descendentes com mais de 3%** de inclinação e mais de **1.5 km** de extensão, agravam-se em **20%** os valores da distância de visibilidade de paragem mínima constantes do quadro.
- em trainéis **descendentes com mais de 6%** de inclinação e mais de **1.5 km** de extensão, calcula-se a distância de visibilidade de paragem efectivamente necessária utilizando a formulação seguinte.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **distância de visibilidade de paragem** (mínima) S é a distância necessária para que um condutor, circulando a uma determinada velocidade, possa parar o veículo (se necessário) após ver um **obstáculo no pavimento** (distância medida entre os olhos do condutor, a uma altura de 1.05 m acima do pavimento e um obstáculo com 0.15 m de altura).



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **distância de visibilidade de paragem** é o somatório de 3 termos: a **distância de percepção/reacção** d_r , a **distância de travagem** d_t e a **distância de segurança** d_s .

O primeiro termo está relacionada com o intervalo de tempo t_r decorrido entre o instante em que o condutor se apercebe da existência do obstáculo e o instante em que acciona os travões, variando entre 1.64 s e 3.5 s (o tempo de reacção considerado na norma portuguesa é de **2.0 s**), que multiplicado pela velocidade (m/s), fornece a distância de reacção (em m): $d_r = v t_r$. A **distância de travagem** d_t (em m) pode ser determinada pela expressão

$$d_t = \frac{v^2}{2g(f \pm G)} \quad (\text{mov. uniformemente acelerado})$$

onde v é a **velocidade inicial** (m/s), $g=9.8 \text{ m/s}^2$, G é a **inclinação do trainel** (em decimal) e f é o **coeficiente de atrito** entre o pavimento e os pneus (em decimal, dependente da pressão, composição e estado dos pneus, tipo e condição do pavimento e da presença de humidade, lama, neve ou gelo). Acrescentando a distância de reacção e a distância de segurança, tem-se:

$$S(\text{m}) = \frac{v^2}{2g(f \pm G)} + v t_R + d_S$$

$$S(\text{m}) = \frac{v t_R}{3.6} + \frac{v^2}{254(f \pm e)}, v(\text{km/h}); f, i \text{ m/m}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Exemplo: um condutor com um **tempo de reacção** igual a **2.5 s** **desce** uma estrada com pavimento seco, cujo **declive** é igual a **4%**, a uma **velocidade** igual a **55 km/h** quando, de repente, surge uma pessoa por trás de um carro a uma **distância** de **60 m**. a) Sendo $f=0.7$, pode o condutor parar a tempo de evitar o atropelamento? b) Se o pavimento estiver molhado ($f=0.4$), pode o condutor parar a tempo de evitar o atropelamento?

$$\text{a) } S = \frac{15.28^2}{2 \times 9.8 \times (0.7 - 0.04)} + 2.5 \times 15.28 = 56.25 \text{ m, conseguindo evitar o atropelamento}$$

$$\text{b) } S = \frac{15.28^2}{2 \times 9.8 \times (0.4 - 0.04)} + 2.5 \times 15.28 = 71.29 \text{ m, não conseguindo evitar o atropelamento}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

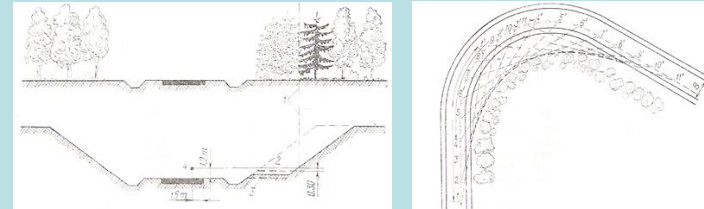
Valores para pavimento húmido e limpo,
em condições aceitáveis de conservação,
pneus com bastante desgaste e em alinhamento recto (JAE)

| Velocidade (km/h) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 | 120 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Coef. Atrito longitudinal | 0,38 | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 | 0,32 |

Coeficiente de atrito longitudinal

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As obstruções à visibilidade que normalmente ocorrem **no caso de curvas horizontais** são árvores, barreiras ou taludes de escavação.



Nos locais onde existam obstruções no lado interior das curvas horizontais (tais como muros de suporte, taludes, pilares de uma estrutura, construções ou árvores), é necessário garantir uma distância de visibilidade adequada, **sendo o raio da curva determinado em função da distância de visibilidade de paragem**.

Para efeito de concepção, a linha de visibilidade entre dois pontos coincide com a **corda** da curva entre esses pontos, calculando-se a distância de visibilidade de paragem (em curva) ao longo do eixo da faixa mais interior da curva.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Exemplo: um edifício localiza-se na vizinhança de uma curva de raio $R_c=40$ m (correspondente ao eixo da estrada) de uma estrada municipal, cujas faixas têm uma largura igual a 3 m; estando o limite do pavimento interior da curva a uma distância igual a 1.8 m do edifício, determine o limite de velocidade que deve ser imposto nessa secção da estrada (hipóteses: o tempo de reacção do condutor é igual a $t_r=2.5$ s, o coeficiente de atrito é $f_a=0.4$ e a largura da berma é igual a 1.2 m).

O raio da faixa interior (do respectivo eixo) é $R=40-3/2=38.5$ m;

A distância $M=3/2+1.2+1.8=4.5$ m;

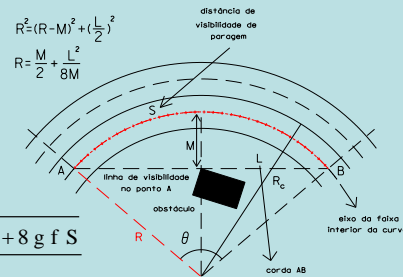
$$M = R \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) = R \left(1 - \cos \frac{S}{2R}\right)$$

$$S = 2R \arccos \left(1 - \frac{M}{R}\right)$$

$$= 2 \cdot 38.5 \cdot 27^\circ.979 \cdot \pi / 180^\circ = 37.6 \text{ m}$$

$$S = \frac{v^2}{2gf} + t_r v \Rightarrow v = \frac{-2gft_r \pm \sqrt{4g^2f^2t_r^2 + 8gfS}}{2}$$

$$= 10 \text{ m/s} = 35.8 \text{ km/h} \approx 35 \text{ km/h}$$



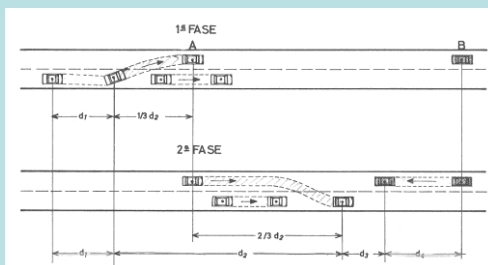
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **distância de visibilidade de decisão** é a distância necessária para um condutor:

1. se **aperceber** de uma informação inesperada ou da alteração nas características da estrada,
2. identificar essas situações,
3. **adoptar** a velocidade mais conveniente e
4. **iniciar** e concluir a manobra necessária.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **distância de visibilidade de ultrapassagem** é a menor distância de visibilidade necessária para que o condutor de um veículo ultrapasse outro veículo com segurança e comodidade.



d_1 : distância percorrida pelo veículo ultrapassante durante o tempo t_1 de percepção e reação do condutor e de aceleração do veículo

d_2 : distância percorrida pelo veículo ultrapassante enquanto circula na via de sentido oposto

d_3 : distância no fim da manobra, entre o veículo ultrapassante e o veículo que circula no sentido oposto

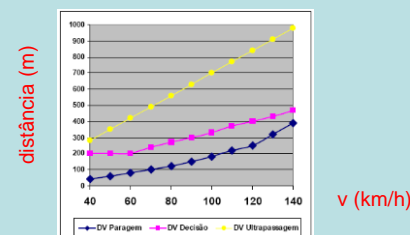
d_4 : distância percorrida à velocidade de projecto pelo veículo em sentido oposto, durante a manobra de ultrapassagem

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

| v_a (km/h) | v_t (km/h) | DVParagem (m) | DVDecisão (m) | DVUltrapassagem (m) |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------------|
| 40 | 50 | 60 | - | 350 |
| 50 | 60 | 80 | 200 | 420 |
| 60 | 80 | 120 | 270 | 560 |
| 70 | 90 | 150 | 300 | 630 |
| 80 | 100 | 180 | 330 | 700 |
| 90 | 110 | 220 | 370 | 770 |
| 100 | 120 | 250 | 400 | 840 |
| 110 | 125 | 280 | 410 | 880 |
| 120 | 130 | 320 | 430 | 910 |
| 130 | 135 | 330 | 450 | 950 |
| 140 | 140 | 390 | 470 | 980 |

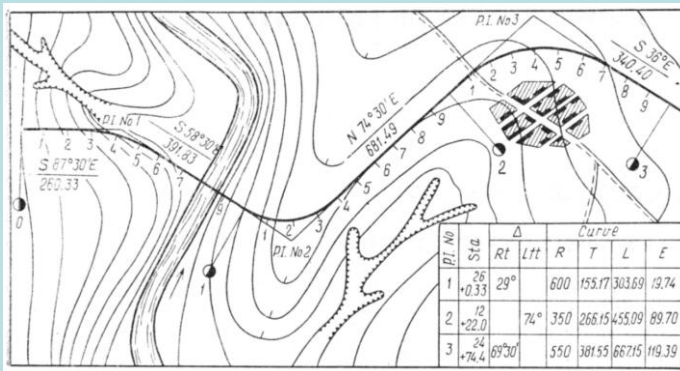
$$DVD(m) \approx 3.3 v_T (km/h)$$

$$DVU(m) \approx 7v_T (km/h)$$



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Os diferentes elementos do **traçado em planta** são os alinhamentos rectos ou tangentes, as curvas circulares e as curvas de transição.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

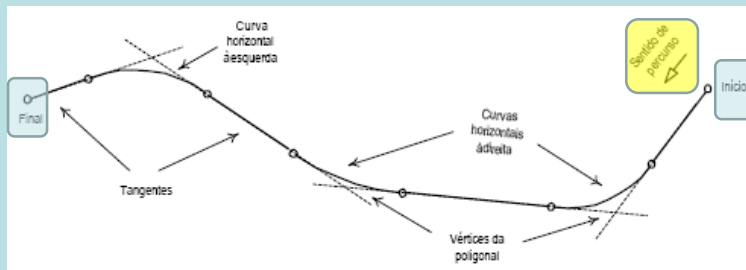
Normalmente, os alinhamentos rectos são implantados em primeiro lugar e são caracterizados pelo respectivo comprimento e rumo.

Quando a directriz muda de rumo e os alinhamentos rectos formam ângulos de deflexão, são inscritas curvas que ligam as secções rectilíneas do traçado.

No caso de serem utilizados arcos de circunferência, os elementos relevantes são o raio de curvatura, o ângulo de deflexão e o comprimento do arco.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **directriz** (traçado em planta) de uma via de comunicação pode ser imaginada como sendo constituído por uma poligonal cujos alinhamentos são **concordados**, nos vértices, por **curvas horizontais**.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Em **terreno plano** deve evitar-se que o traçado ocasione **monotonia**.



Deve merecer cuidado especial a drenagem superficial de forma a evitar a acumulação de água no pavimento; no caso de terreno difícil, deve-se localizar o traçado em zonas estáveis e de modo a atravessar em condições favoráveis as linhas de água.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Deve-se ainda localizar o traçado, sempre que possível, em encostas expostas ao sol, de forma a evitar-se a formação de **gelo**.

Sempre que o seu custo não seja excessivo, é preferível o recurso a **viadutos, túneis e muros de suporte**, em vez de **taludes de aterro ou de escavação**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Os **alinhamentos rectos extensos** facilitam as ultrapassagens nas estradas de duas vias; no entanto, normalmente **integram-se mal na topografia**, provocam o aumento do tempo de **encadeamento** na condução nocturna, tornam a condução **monótona** e dificultam a avaliação das distâncias e das velocidades.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **extensão máxima** de um alinhamento recto, em metros, com inclinação longitudinal constante, deverá ser $\leq 20 V_{base}$; por outro lado, deverá verificar-se que a extensão do alinhamento recto deverá ser $\geq 6 V_{base}$, o que garante uma boa orientação óptica (V_{base} em km/h) .

Sempre que possível, devem evitar-se orientações coincidentes com o nascente e o poente; se existirem ventos fortes dominantes, a orientação ideal coincide com a desses ventos.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As **curvas circulares**, no traçado em planta, são elementos que permitem a adaptação da estrada à topografia do terreno e a harmonização e equilíbrio com a paisagem e os terrenos confinantes.

Para que um veículo possa percorrer uma curva circular em segurança, é necessário que o **raio** desta não seja inferior a determinado limite, fixado através da relação de equilíbrio entre as principais forças envolvidas no movimento circular do veículo.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

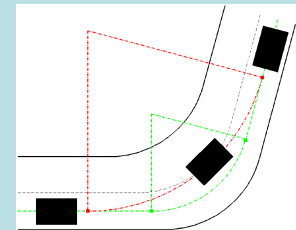
A **qualidade das curvas** de uma via de comunicação afecta a circulação de diversas formas: à medida que o veículo se desloca ao longo da curva, a **força centrífuga**, proporcional à curvatura, tende a deslocá-lo para o exterior da sua trajectória, o que **diminui a respectiva estabilidade**, em especial em pisos escorregadios, para além de **provocar desconforto** para os ocupantes do veículo; em zonas montanhosas, as curvas cujo raio de curvatura é pequeno oferecem uma **visibilidade reduzida**, o que obriga à redução da velocidade.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Na passagem de um troço rectilíneo para um arco de circunferência verifica-se uma **variação brusca da aceleração** radial, de um valor nulo para um valor fixo, isto é, passa-se **instantaneamente** de um raio de curvatura infinito para um raio de curvatura finito.

$$F_C = \frac{mv^2}{R}$$

Se o condutor percorrer a curva a uma **velocidade superior** aquela para a qual a curva foi projectada, para **manter o valor da força centrífuga** tem que **aumentar o valor do raio de curvatura R**, o que o pode levar a “cortar” a curva, invadindo a faixa contrária:



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Tendo em consideração a topografia, o **raio de uma curva circular** deverá ser o maior possível, o que facilita a visibilidade e a percepção do traçado pelos condutores;

no entanto o valor dos raios deve ter em atenção a necessidade do traçado se harmonizar com a paisagem e a coordenação com o perfil longitudinal.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Os **raios** das curvas circulares devem ainda estar relacionados com a **extensão** dos alinhamentos rectos que os antecedem, de modo a assegurar-se um traçado homogéneo:

Raios mínimos em função da extensão dos alinhamentos rectos

| Tipo de estrada | Extensão do alinhamento recto (m) | Raio mínimo da curva circular (m) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| IP e IC | AR ≥ 600 | R > 600 |
| IP e IC | AR < 600 | R > AR |
| Outras estradas | AR ≥ 500 | R > 500 |

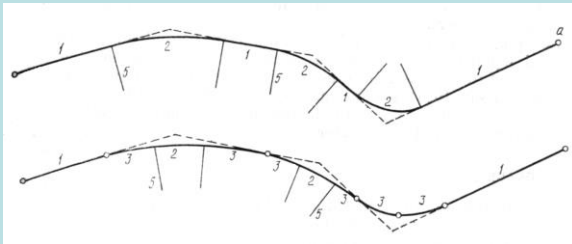
| Velocidade base (km/h) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|----------------------------------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| Extensão mínima (m) * | 240 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 | 600 | 660 | 720 | 780 | 840 |
| Extensão máxima (m) ** | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | 2800 |
| Raio mínimo sem sobrelevação (m) | > 2500 | | | | | | > 5000 | | | | |

*: não aplicável a estradas com faixas de rodagem bidireccionais

** : aplicável a trainéis com inclinação constante

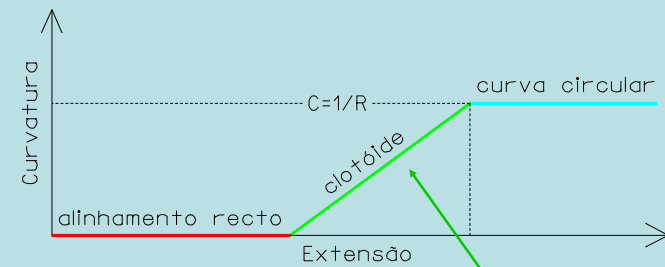
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Para ultrapassar o problema da descontinuidade da curvatura na transição tangente-curva circular, utilizam-se **curvas de transição ou de concordância** horizontais (nos IP e IC, **clotóides**, podendo noutros casos utilizar-se **parábolas cúbicas** ou **lemniscatas**), obtendo-se uma variação gradual (linear, no caso da clotóide) da curvatura entre aqueles dois elementos.



a) tangentes e curvas circulares b) tangentes, curvas circulares e arcos de clotóide;
1=tangentes; 2=arcos circulares; 3=arcos de clotóide; 5=raios dos arcos circulares

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{alinhamento recto : } R = \infty, C = \frac{1}{R} = 0 = \text{constante} \\ \text{curva circular : } R = \text{constante}, C = \frac{1}{R} = \text{constante} \\ \text{clotóide : } R = \frac{A^2}{L}, C = \frac{1}{R} = \frac{L}{A^2} \text{ (variação linear com a extensão, } A \text{ constante)} \end{array} \right.$$

ao longo da clotóide a curvatura varia de forma contínua desde 0 até $1/R$ ou, em termos da aceleração centrífuga, desde 0 até ao valor V^2/R

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Quando um veículo percorre uma curva é sujeito a uma **força centrífuga** F_C que o desvia para o exterior dessa curva.

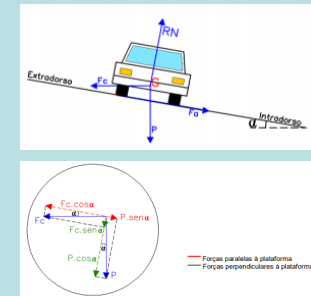
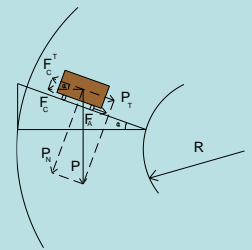
Esta acção da força centrífuga é contrabalançada pelo condutor de modo ao veículo se inserir na curva: a resistência à força centrífuga é compensada pelo **atrito transversal ou tangencial** entre os pneus e o pavimento, sendo este esforço reduzido pela introdução da **sobreelevação**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Equilíbrio entre a **componente tangencial ao pavimento da força centrífuga** (F_C^T), a **componente tangencial ao pavimento do peso do veículo** (P^T) e a **força de atrito** $F_a = f_a Mg \cos \alpha$: supondo α pequeno, de forma que $\cos \alpha \approx 1$ e $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx S_e$ **tem-se**

$$F_C = \frac{MV^2}{R}; \quad P = Mg; \quad F_C^T = F_C \cos \alpha; \quad P^T = P \sin \alpha$$

$$f_a Mg + Mg S_e = \frac{MV^2}{R}$$



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

V é a velocidade em **km/h**, **R** é o raio da curva em **m**,
S_e é a sobrelevação em **%** e **f_a** é o coeficiente de atrito transversal em **%**:

$$R = \frac{V^2}{127(f_a + S_e)}$$

(esta equação limita a velocidade máxima com a qual é permitido ao veículo descrever uma curva de raio R, num pavimento com sobrelevação S_e, coeficiente de atrito transversal f_a, sem que ocorra derrapagem para o exterior)

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

É necessário garantir que a **inclinação máxima** da plataforma (resultante da sobrelevação e da inclinação longitudinal da estrada) não seja superior a **10%**, dado que para esta inclinação e em presença de gelo, um veículo parado ou que se desloque lentamente, tem tendência a deslizar para o centro da curva.

No caso de isto suceder, não se deve diminuir o valor da sobrelevação mas **sim** a inclinação do tranel ou eventualmente modificar o traçado em planta.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Com o objectivo de **minimizar a incomodidade dos condutores** é necessário **limitar os valores de S_e e f** .

A norma P3/94 limita a sobrelevação em **7%** de forma a evitar a possibilidade de derrapagem para o interior da curva por parte dos veículos mais lentos em condições climáticas desfavoráveis.

| Velocidade (km/h) | S_e | f_e | Raio (m) |
|-------------------|-------|-------|----------|
| 32 | 0.04 | 0.17 | 38 |
| 48 | 0.04 | 0.16 | 91 |
| 64 | 0.04 | 0.15 | 172 |
| 80 | 0.04 | 0.14 | 287 |
| 96 | 0.04 | 0.12 | 458 |
| 32 | 0.06 | 0.17 | 35 |
| 48 | 0.06 | 0.16 | 82 |
| 64 | 0.06 | 0.15 | 153 |
| 80 | 0.06 | 0.14 | 255 |
| 96 | 0.06 | 0.12 | 404 |
| 104 | 0.06 | 0.11 | 491 |
| 112 | 0.06 | 0.10 | 625 |
| 32 | 0.08 | 0.17 | 32 |
| 48 | 0.08 | 0.16 | 76 |
| 64 | 0.08 | 0.15 | 140 |
| 80 | 0.08 | 0.14 | 229 |
| 96 | 0.08 | 0.12 | 326 |
| 104 | 0.08 | 0.11 | 458 |
| 112 | 0.08 | 0.10 | 573 |
| 32 | 0.10 | 0.17 | 30 |
| 48 | 0.10 | 0.16 | 69 |
| 64 | 0.10 | 0.15 | 130 |
| 80 | 0.10 | 0.14 | 208 |
| 96 | 0.10 | 0.12 | 327 |
| 104 | 0.10 | 0.11 | 404 |
| 112 | 0.10 | 0.10 | 491 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Considerando o valor máximo do coeficiente de atrito transversal correspondente a cada velocidade, determinam-se os **raios mínimos absolutos**. Estes valores devem ser utilizados excepcionalmente pois a sua utilização tem como consequência **acelerações centrífugas** de valor elevado, embora para velocidades base inferiores a 80 km/h sejam idênticas ao **máximo de 0.22 g** ($a_c < 2.156 \text{ m/s}^2$) admissível para que haja segurança e comodidade.

Os **raios mínimos normais** devem assegurar uma circulação segura e cómoda, pelo que a aceleração centrífuga deverá ter um valor correspondente a **50%** do valor máximo admissível.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Considerando o valor máximo do coeficiente de atrito transversal correspondente a cada velocidade, determinam-se os raios mínimos absolutos e normais:

| Velocidade base (km/h) | Raio mínimo absoluto (RA) | Raio mínimo normal (RN) |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 40 | 55 | 110 |
| 50 | 85 | 180 |
| 60 | 130 | 250 |
| 70 | 180 | 350 |
| 80 | 240 | 450 |
| 90 | 320 | 550 |
| 100 | 420 | 700 |
| 110 | 560 | 850 |
| 120 | 700 | 1000 |
| 130 | 900 | 1200 |
| 140 | 1200 | 1400 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As curvas de transição, que devem ser **clotóides** nos IP e IC, têm como função assegurar **a variação contínua da aceleração centrífuga** entre os alinhamentos rectos e as curvas circulares a qual, por razões de segurança e comodidade **não deve exceder 0.5 m/s^3** , **permitir efectuar convenientemente a transição da sobreelevação e da sobrelargura e melhorar a comodidade óptica do traçado.**

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Resumo dos parâmetros fundamentais do traçado em planta (os valores da extensão mínima dos alinhamentos rectos são indicativos). A extensão mínima das curvas, incluindo 50% das curvas de transição deverá ser, para $V_{base} > 70$ km/h, 150 m:

Alinhamentos Rectos

| Velocidade base (km/h) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|----------------------------------|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Extensão mínima (m) | - | - | 360 | 420 | 480 | 540 | 600 | 660 | 720 | 780 | 840 |
| Extensão máxima (m) | - | - | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2600 | 2800 |
| Raio mínimo sem sobrelevação (m) | | | | > | 2500 | | | | > | 5000 | |

Curvas

| Velocidade base (km/h) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Raio mínimo normal (m) | 110 | 180 | 250 | 350 | 450 | 550 | 700 | 850 | 1000 | 1200 | 1400 |
| Extensão mínima das curvas (m) | 30 | 40 | 50 | 65 | 90 | 115 | 150 | 190 | 250 | 320 | 400 |
| Parâmetro mínimo da clotoide | 35 | 50 | 70 | 90 | 120 | 150 | 180 | 220 | 270 | 330 | 410 |
| Raio mínimo sem sobrelevação (m) | | | | > | 2500 | | | | > | 5000 | |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A quilometragem é medida ao longo da directriz, sobre os vários elementos que a compoem, tendo uma origem convencional numa das extremidades do lanço em projecto (km 0+0.000), em geral coincidindo com o eixo da uma estrada já existente.

Para efeitos de projecto e de futura implantação são normalmente calculadas as coordenadas dos pontos da directriz com quilometragem múltipla de 25 m, contada a partir da origem considerada.

Além destes pontos, incluem-se os pontos notáveis da directriz, isto é, os pontos de transição tangente-curva circular (TC ou CT), pontos de transição tangente-clotoide (TS ou ST) e pontos de transição curva circular-clotoide (CS ou SC).

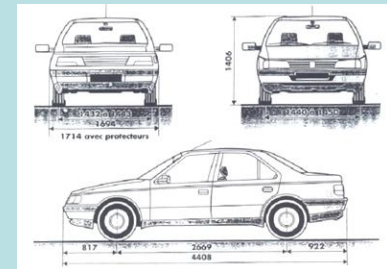
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Com frequência, os acessos existentes são suprimidos devido à implantação da nova estrada, o que obriga à construção de vias de serviço para assegurar o acesso às propriedades marginais, cujo traçado depende dos condicionamentos topográficos e urbanísticos locais.

Devem ser mantidos os caminhos para peões, através de passagens desniveladas (de preferência passagens superiores), tendo em consideração as necessidades actuais e futuras da zona abrangida ou da comunidade existente.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A característica principal do perfil transversal é a largura das vias, definida de acordo com a largura dos veículos e o espaço lateral de segurança. Nas estradas com 2x2 vias, a largura das vias deve verificar as seguintes condições:

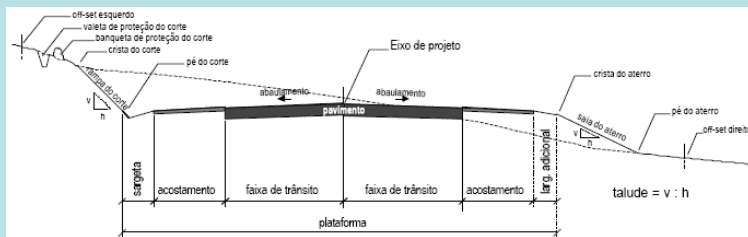


3.75 m se $V_{base} \geq 100$ km/h

3.50 m se $V_{base} < 100$ km/h

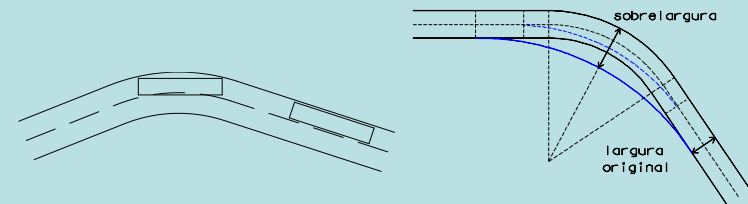
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As **bermas** são um refúgio para veículos avariados, permitem a circulação dos veículos de socorro e asseguram o suporte lateral da faixa de rodagem. Para a segurança da circulação, é indispensável que haja uma distinção nítida entre a faixa de rodagem e as bermas, para que estas não sejam utilizadas pelo tráfego; conseqüentemente, as bermas devem ter uma cor e textura contrastante com a faixa de rodagem.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

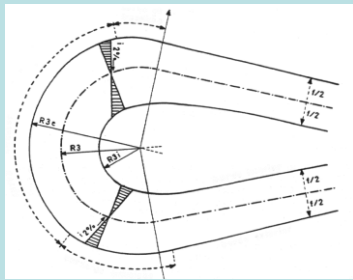
Os veículos ao descreverem uma curva ocupam uma maior largura de faixa de rodagem e este aumento da largura ocupada depende do raio de curvatura e do comprimento do veículo. Embora este aumento seja desprezível para veículos ligeiros, é significativo para veículos pesados, pelo que deve ser considerado.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **sobrelargura** total S_L numa curva de raio R (não se considera a sobrelargura para curvas com raio superior a **200 m**), normalmente introduzida no **intradorso** da curva para estradas com duas vias, pode ser calculada pela expressão:

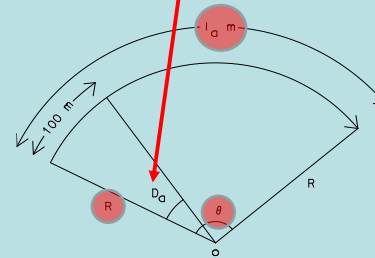
$$S_L = \frac{80}{R}$$



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Um **arco circular** de raio R e de comprimento l_a (ou amplitude θ), pode caracterizar-se por:

- curvatura** C , igual ao inverso do raio (de curvatura) R , isto é, $C=1/R$
- grau da curva** D_a (em função do arco), igual ao ângulo ao centro subtendido por um arco de comprimento igual a 100 m:



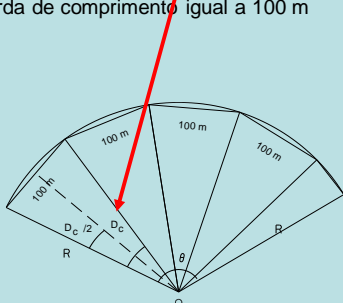
$$l_a = \frac{2\pi R\theta}{360} \text{ m}$$

$$D_a = \frac{36000^\circ}{2\pi R}$$

$$D_a = \frac{1000}{l_a}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

c) grau da curva D_c (em função da corda), igual ao ângulo subtendido por uma corda de comprimento igual a 100 m

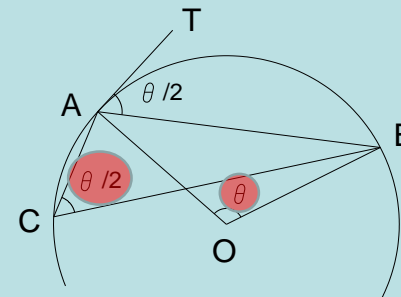


$$\sin\left(\frac{D_c}{2}\right) = \frac{50}{R}$$

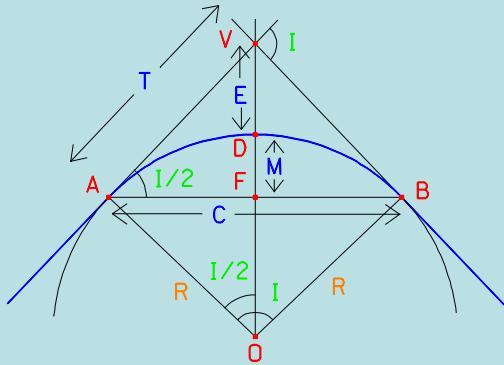
$$l_c = 100 \frac{\theta}{D_c}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Geometria da circunferência: sendo $\angle AOB = \theta$ o ângulo ao centro subtendido pelos pontos A e B sobre a circunferência (designado por ângulo de dupla deflexão), para qualquer ponto C sobre a circunferência tem-se $\angle ACB$; supondo que o ponto C se desloca sobre a circunferência convergindo para o ponto A, no limite a direcção CA é tangente à circunferência em A e portanto a tangente em A faz com AB um ângulo = $\theta/2$.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



$$\tan\left(\frac{I}{2}\right) = \frac{T}{R} \Rightarrow T = R \tan\left(\frac{I}{2}\right)$$

$$\sin\left(\frac{I}{2}\right) = \frac{C}{2R} \Rightarrow C = 2R \sin\left(\frac{I}{2}\right)$$

$$\cos\left(\frac{I}{2}\right) = \frac{C}{2T} \Rightarrow C = 2T \cos\left(\frac{I}{2}\right)$$

$$\cos\left(\frac{I}{2}\right) = \frac{OF}{R} \Rightarrow OF = R \cos\left(\frac{I}{2}\right)$$

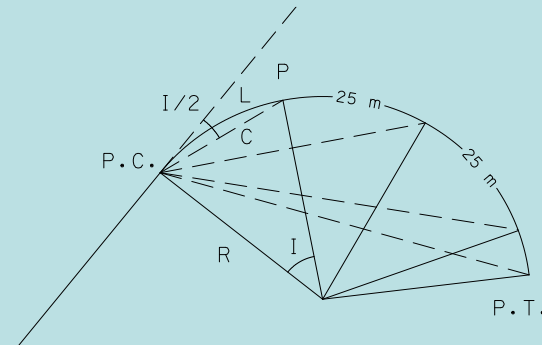
$$M = R - OF = R - R \cos\left(\frac{I}{2}\right) = R \left(1 - \cos\left(\frac{I}{2}\right)\right)$$

$$\cos\left(\frac{I}{2}\right) = \frac{R}{OV} \Rightarrow OV = \frac{R}{\cos\left(\frac{I}{2}\right)}$$

$$E = OV - R = \frac{R}{\cos\left(\frac{I}{2}\right)} - R = R \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{I}{2}\right)} - 1\right)$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As curvas circulares são **piquetadas** a partir do ponto A=P.C., tomando como base a direcção da tangente (aponta-se a estação total para a tangente precedente (no caso de ser uma tangente), reitera-se o limbo azimuthal a 180° e gira-se o aparelho 180°, definindo a leitura 0° a tangente para a frente, direcção a partir da qual se medem as deflexões..



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Conhecida a **quilometragem** do ponto A=P.C., determina-se o comprimento **L** sobre a curva até ao ponto seguinte cuja quilometragem é múltipla de 25 m e, de $L=R \cdot I$, calcula-se o ângulo de dupla deflexão **I** correspondente a esse ponto, isto é, $I=L/R$ rad (o valor de **R** está fixado no projecto).

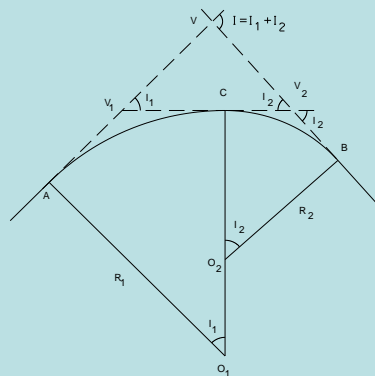
De $\sin \frac{I}{2} = \frac{C}{2R}$, onde **C** é o comprimento da corda entre o ponto A=P.C. e o ponto que se pretende piquetar, vem $C = 2R \sin \frac{\theta}{2}$.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Gira-se então a estação total de um ângulo de deflexão **I/2** e nessa direcção, à distância (horizontal) **C**, coloca-se uma **estaca** (encarnada) a materializar o ponto pretendido. Para definir os restantes pontos do arco circular, repete-se o procedimento anterior, **acrescentando sucessivamente 25 m ao valor de L** até que a distância ao ponto B=P.T. seja inferior a 25 m; a estaca correspondente a este ponto é definida pelo valor de L definido pelo ângulo ao centro subtendido pelos pontos P.T. e P.C. (ângulo de dupla deflexão).

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Uma **curva composta** consiste em duas (ou mais) curvas circulares que deflectem na mesma direcção, têm uma tangente comum e os dois (ou mais) centros do mesmo lado dessa tangente. A utilização de curvas compostas permite um melhor ajustamento do eixo da via de comunicação a condições topográficas complexas (não devem no entanto ser utilizadas curvas compostas no caso em que curvas circulares (simples) resolvam o problema). Como já se disse, este tipo de curvas não deve ser utilizados nos traçados dos IP e dos IC pois na transição entre as duas curvas circulares há uma descontinuidade na curvatura que pode ser perigosa.



A=P.C.1, B=P.T.2, C=P.T.1+P.C.2+P.C.C., T1=V1C, T2=V2C, TL=AV, TR=BV

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

método do triângulo

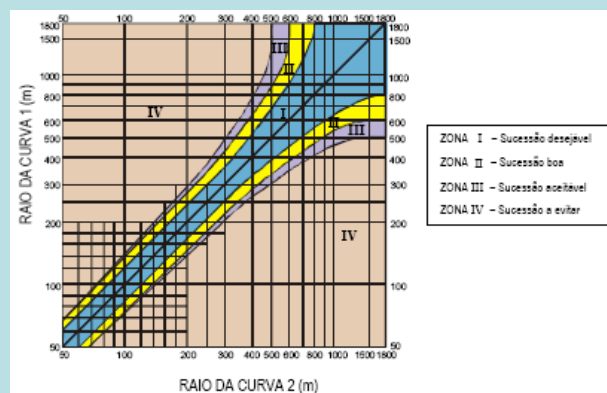
$$\begin{cases} T_L = T_1 + VV_1 = T_1 + (T_1 + T_2) \frac{\sin I_2}{\sin I} \\ T_R = T_2 + VV_2 = T_2 + (T_1 + T_2) \frac{\sin I_1}{\sin I} \end{cases}$$

método do polígono

$$\begin{cases} T_L = R_2 \sin I + (R_1 - R_2) \sin I_1 - T_R \cos I \\ T_R = \frac{R_1 - R_2 \cos I - (R_1 - R_2) \cos I_1}{\sin I} \end{cases}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

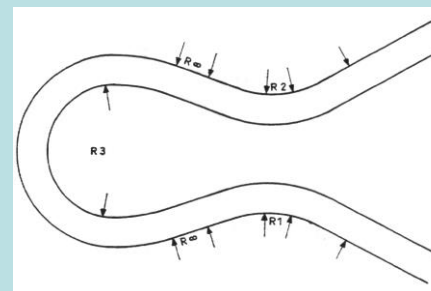
Por diversas razões, deve haver uma relação equilibrada entre os raios das sucessivas curvas circulares.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

No caso de alinhamentos rectos formando um ângulo muito pequeno, é por vezes necessário recorrer a um **lacete** para estabelecer a ligação entre eles. Os lacetes são um obstáculo para a fluidez da circulação, pelo que só devem ser utilizados quando as condicionantes topográficas não permitirem outra solução.

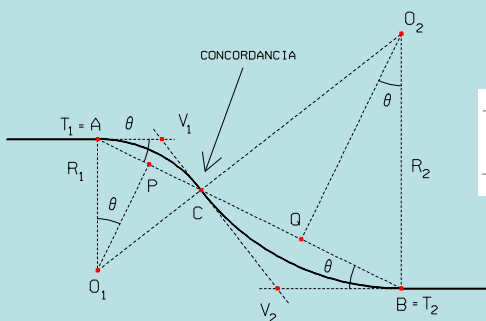
Um lacete é constituído por três curvas circulares e dois pequenos alinhamentos rectos.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

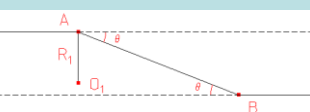
Uma **curva reversa** consiste em duas curvas circulares que deflectem em direcções contrárias, têm uma tangente comum e os centros em lados opostos dessa tangente.

a) tangentes às curvas circulares nas duas extremidades paralelas, raios diferentes



Input: AB, θ , R_1

Output: R_2

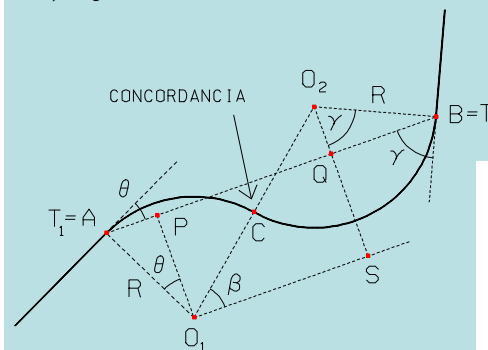


θ ângulo entre as tangentes e o segmento AB

$$R_2 = \frac{AB}{2 \sin \theta} - R_1$$

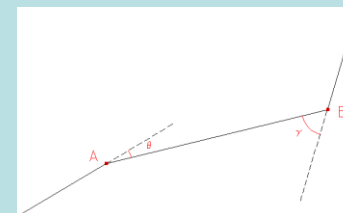
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

b) tangentes às curvas circulares nas duas extremidades não paralelas, raios iguais



Input: AB, θ , γ
Output: R

θ e γ ângulos entre as tangentes e o segmento AB

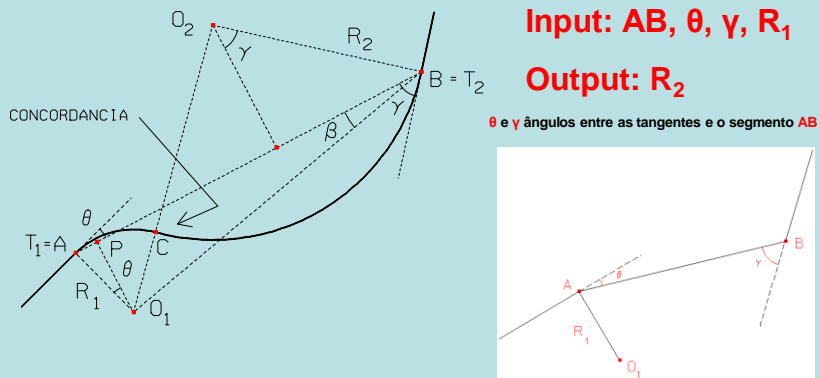


$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \theta + \cos \gamma}{2} \right)$$

$$R = \frac{AB}{2 \cos \beta + \sin \theta + \sin \gamma}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

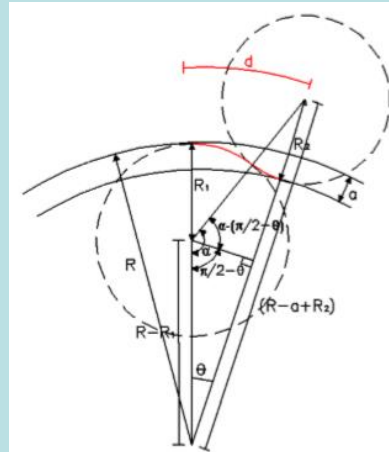
c) tangentes às curvas circulares nas duas extremidades não paralelas, raios diferentes



$$\beta = \tan^{-1} \frac{R_1 \cos \theta}{AB - R_1 \sin \theta}$$

$$R_2 = \frac{R_1 (\cos^2 \theta - \sin^2 \beta)}{2 \sin \beta (\sin \beta + \cos \theta \sin(\gamma - \beta))}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Curva reversa efectuando a ligação entre 2 curvas circulares concêntricas

$$\begin{cases} (R - a + R_2)^2 = (R - R_1)^2 + (R_1 + R_2)^2 - 2 \cdot (R - R_1) \cdot (R_1 + R_2) \cdot \cos \alpha \\ (R_1 + R_2) \cdot \text{sen} \left(\alpha + \frac{D}{R} \right) = (R - R_1) \cdot \text{sen} \frac{D}{R} \end{cases}$$

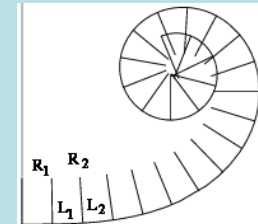
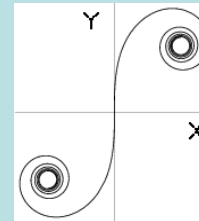
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As curvas de transição, que devem ser **clotóides** nos IP e IC, têm como função:

- a) assegurar a variação contínua da aceleração centrífuga (da_c/dt) entre os alinhamentos rectos e as curvas circulares a qual, por razões de segurança e comodidade não deve exceder **0.5 m/s³**.
- b) permitir efectuar convenientemente a transição da sobreelevação e da sobrelargura e
- c) melhorar a comodidade óptica do traçado, desde que o ângulo de deflexão seja, no mínimo, 3.5^º.

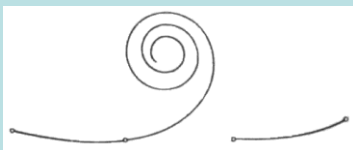
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

As clotóides são caracterizadas pela expressão $A^2=RL$, sendo A o parâmetro da clotóide (m), que deve verificar as 3 funções anteriores, R o raio da curva (m) e L a extensão da clotóide (m), ou seja, **em qualquer ponto da curva, o raio de curvatura é inversamente proporcional à abcissa curvilínea L, medida a partir da origem do referencial considerado.**



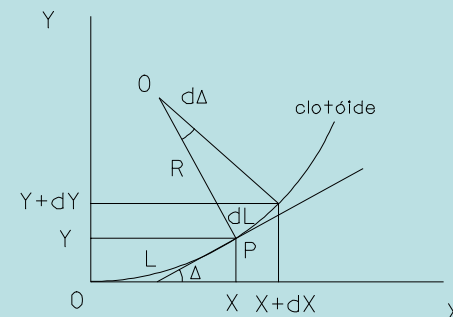
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Em geral, apenas se utiliza a parte central da clotóide.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Sendo P um ponto genérico sobre a clotóide, L a distância sobre a clotóide desde a origem até o ponto P , Δ o ângulo entre a tangente à clotóide em P e o eixo X e R o raio de curvatura da clotóide em P , considere-se um deslocamento infinitesimal dL sobre a curva, a que corresponde o ângulo infinitesimal $d\Delta$.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

De $LR = A^2$ tem-se $R = A^2/L$; substituindo esta expressão em $dL = R d\Delta$ tem-se

$$dL = \frac{A^2}{L} d\Delta$$

ou

$$L dL = A^2 d\Delta$$

que, por integração, dá ,

$$\frac{L^2}{2} = A^2 \Delta$$

donde ,

$$\Delta = \frac{L^2}{2A^2} = \frac{L}{2R}$$

expressão que fornece em função de L e de R.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Substituindo a expressão $dL = \frac{A^2}{L} d\Delta$ nas expressões $dX = dL \cos \Delta$ e $dY = dL \sin \Delta$ e tomando em consideração que $A = L/\sqrt{2\Delta}$, tem-se

$$\begin{cases} dX = \frac{A^2}{L} \cos \Delta = \frac{A^2}{\sqrt{2A^2\Delta}} \cos \Delta = \frac{A}{\sqrt{2\Delta}} \cos \Delta \\ dY = \frac{A^2}{L} \sin \Delta = \frac{A^2}{\sqrt{2A^2\Delta}} \sin \Delta = \frac{A}{\sqrt{2\Delta}} \sin \Delta \end{cases}$$

que, por integração

$$\begin{cases} \int_0^X dX = X = \int_0^\Delta \frac{A}{\sqrt{2\Delta}} \cos \Delta d\Delta = A\sqrt{2\Delta} \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \frac{\Delta^{2i-2}}{(4i-3)(2i-2)!} = L \left(\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \frac{\Delta^{2i-2}}{(4i-3)(2i-2)!} \right) \\ \int_0^Y dY = Y = \int_0^\Delta \frac{A}{\sqrt{2\Delta}} \sin \Delta d\Delta = A\sqrt{2\Delta} \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \frac{\Delta^{2i-1}}{(4i-1)(2i-1)!} = L \left(\sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i+1} \frac{\Delta^{2i-2}}{(4i-3)(2i-2)!} \right) \end{cases}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Quanto à utilização de **curvas de transição**, há a considerar os seguintes casos:

casos normais

- a1) dois alinhamentos rectos e uma curva circular
- a2) duas curvas circulares de sentido contrário (curvas reversas)
- a3) duas curvas circulares no mesmo sentido (curvas compostas)

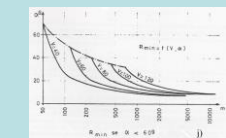
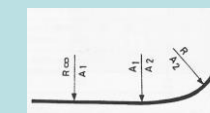
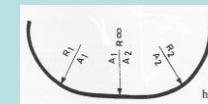
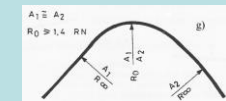
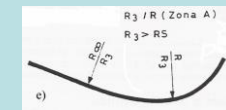
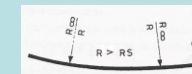
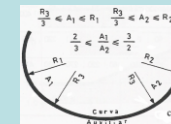
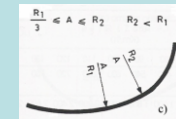
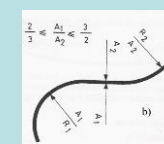
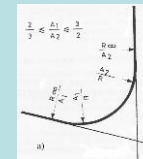
casos particulares

- b1) dois alinhamentos e uma curva de grande raio sem curva de transição
- b2) duas curvas circulares sem curva de transição
- b3) substituição da curva de transição por um arco de circunferência

casos a evitar por motivos de segurança

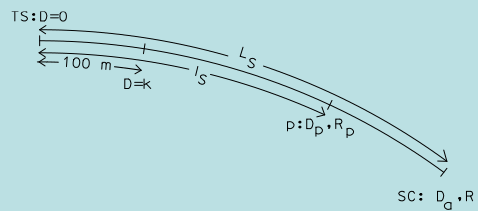
- c1) clotóide em vértice
- c2) duas curvas de transição no mesmo sentido
- c3) duas curvas de transição consecutivas

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O grau D ou, de forma equivalente, o raio r de uma **clotóide** (pois $D=36000/2\pi r$) varia linearmente desde o valor zero, no ponto TS – ponto de transição entre a tangente e a clotóide – até ao valor D_a no ponto SC – ponto de transição entre a clotóide e o arco circular.



Assim, sendo L_s o comprimento (extensão) do arco de clotóide (entre os pontos TS e SC), tem-se

$$\frac{100}{L_s} = \frac{k}{D_a}$$

onde D_a é a variação do grau da clotóide entre os pontos TS e SC e k é a variação do grau da clotóide num troço de 100 m de extensão.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Se p um ponto genérico sobre a clotóide, a uma distância l_s do ponto TS, ao qual corresponde uma variação do grau da clotóide igual a D_p , tem-se

$$\frac{k}{100} = \frac{D_a}{L_s} = \frac{D_p}{l_s}$$

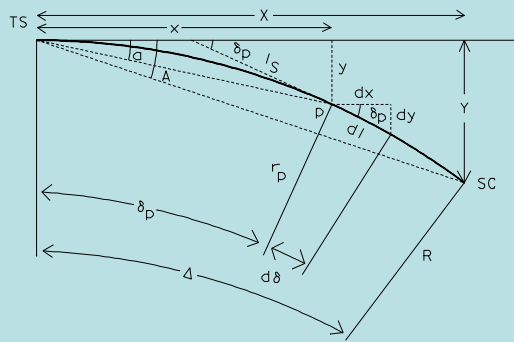
Daqui tem-se que, conhecidos L_s e D_a no ponto SC

$$k = \frac{100D_a}{L_s}$$

$$D_p = \frac{k l_s}{100}$$

$$r_p = \frac{36000}{2\pi D_p} = \frac{3600000}{2\pi k l_s}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



$$\Delta = \frac{L_s^2}{2RL_s} = \frac{L_s}{2R}$$

$$\delta_p = \frac{L_s^2}{L_s^2} \Delta$$

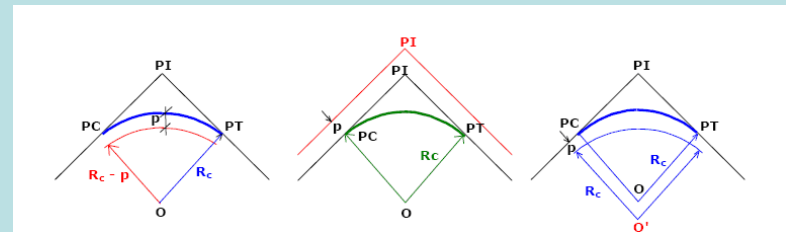
$$A = \frac{\Delta}{3}$$

$$a = \frac{\delta_p}{3}$$

$$\begin{cases} X = L_s \left(1 - \frac{\Delta^2}{5x2!} + \frac{\Delta^4}{9x4!} - \frac{\Delta^6}{13x6!} + \dots \right) \\ Y = L_s \left(\frac{\Delta}{3} - \frac{\Delta^3}{7x3!} + \frac{\Delta^5}{11x5!} - \frac{\Delta^7}{15x7!} + \dots \right) \end{cases} \quad \begin{cases} x = L_s \left(1 - \frac{\delta^2}{5x2!} + \frac{\delta^4}{9x4!} - \frac{\delta^6}{13x6!} + \dots \right) \\ y = L_s \left(\frac{\delta}{3} - \frac{\delta^3}{7x3!} + \frac{\delta^5}{11x5!} - \frac{\delta^7}{15x7!} + \dots \right) \end{cases}$$

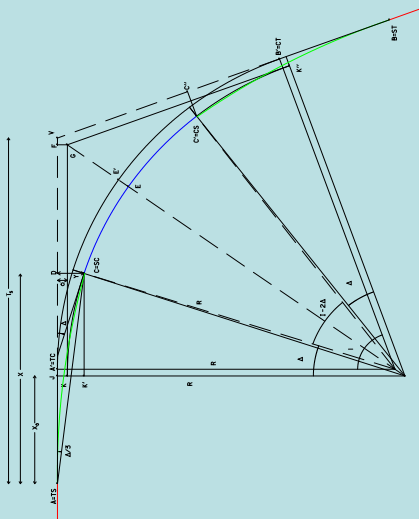
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Calculadas as coordenadas dos pontos definidores da clotóide, resta o problema da respectiva introdução no traçado de forma a que haja concordância entre os diversos elementos que o compõem. Para isso, há necessidade de efectuar um afastamento da curva circular em relação à tangente, podendo este afastamento p ser obtido de três formas diferentes:



centro conservado, raio e centro conservados, raio conservado

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Para ser possível a introdução dos arcos de clotóide AC e C'B como curvas de transição entre a tangente AV e a curva circular A'B' e entre esta mesma curva e a tangente VB, o arco circular original tem que sofrer uma **translação** ao longo da bissetriz do ângulo de dupla deflexão I, até à posição KCC'K'', conservando-se desta forma a porção CC' deste arco.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Dados $V=PI$, I , D_a , os parâmetros necessários para a piquetagem da clotóide são:

1. seleccionar L_s

2. calcular $\Delta = \frac{L_s D_a}{200} = \frac{L_s}{2R}$

3. calcular $I - 2\Delta$, $R = \frac{36000}{2\pi D_a}$, $L_a = 100 \frac{I - 2\Delta}{D_a}$

4. calcular $X = L_s \left(1 - \frac{\Delta^2}{10} + \frac{\Delta^4}{216} - \frac{\Delta^6}{9360}\right)$, $Y = L_s \left(\frac{\Delta}{3} - \frac{\Delta^3}{42} + \frac{\Delta^5}{1320} - \frac{\Delta^7}{75600}\right)$

5. calcular $o = JK = EE' = Y - R(1 - \cos \Delta)$, $EE' = o / \cos(I/2)$ ->ripagem

6. calcular $T_s = X - R \sin \Delta + R \tan\left(\frac{I}{2}\right) + o \tan\left(\frac{I}{2}\right)$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

7. calcular $TS=V-T_s$, $SC=TS+L_s$, $CS=SC+L_a$, $ST=CS+L_s$

8. calcular $\delta = \Delta \frac{L_s^2}{L_s^2}$ com L_s =distância de TS à estaca múltipla de 25 m

9. calcular $x = L_s \left(1 - \frac{\delta^2}{10} + \frac{\delta^4}{216} - \frac{\delta^6}{9360} \right)$, $y = L_s \left(\frac{\delta}{3} - \frac{\delta^3}{42} + \frac{\delta^5}{1320} - \frac{\delta^7}{75600} \right)$

10. calcular $A = \frac{\Delta}{3}$

11. calcular $a = A \frac{L_s^2}{L_s^2}$

12. calcular $c = \sqrt{x^2 + y^2}$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

13. estacionar em V, orientar o aparelho a zero segundo a tangente para trás e determinar os pontos TS, à distância T_s de V e D, à distância $T_s - X$

14. orientar o aparelho segundo a tangente para a frente, introduzindo o ângulo I e determinar os pontos ST, à distância T_s de V e C'', à distância $T_s - X$

15. estacionar nos pontos D e C'' e determinar os pontos SC e CS à distância Y, perpendicularmente às tangentes

16. estacionar em TS, orientar a zero para V e piquetar os pontos da clotoide com os valores (a,c)

17. estacionar em SC, orientar para TS, introduzir o ângulo $180^\circ \pm 2A$, girar 180° , definindo a tangente à curva circular em SC e piquetar a curva circular

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

1. Critério do comprimento mínimo absoluto ou da comodidade óptica: segundo este critério, para que a transição em clotóide tenha efeito prático na eliminação da descontinuidade na curvatura entre a tangente e a curva circular, a clotóide deve ser percorrida num intervalo de tempo $\geq 2^s$;

tem-se assim:

$$L_S^{\min} (m) = v_{(m/s)} \times t_{(s)} = 2 v_{(m/s)} = 0.56 v_{(km/h)}, \text{ desde que } L_S^{\min} > 30 \text{ m.}$$

De $L = A^2 R$, tem-se $A \geq (R v_{(km/h)})^{1/2}$, R e A em metros.

exemplo: se $v = 140 \text{ km/h}$, $L_S^{\min} (m) = 78.4 \text{ m}$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

2. Critério do conforto e segurança ou da taxa máxima de variação da aceleração centrífuga a_c : segundo este critério, vai determinar-se o menor comprimento admissível para a transição de forma a não sujeitar os ocupantes dos veículos a sensação de desconforto e insegurança provocada pela rapidez da passagem da tangente para a curva circular.

A sobrelevação das curvas contribui decisivamente para a comodidade e segurança da circulação pois compensa parte da força centrífuga, sendo a restante parte equilibrada pelo atrito entre os pneus e o pavimento: a aceleração resultante é $a_c = v^2/R - g(S_e + f_a)$, pelo que a respectiva taxa de variação ao longo do tempo é $da_c/dt = (v^2/R - g(S_e + f_a))/t$; pondo $t = L_S^{\min}/v$:

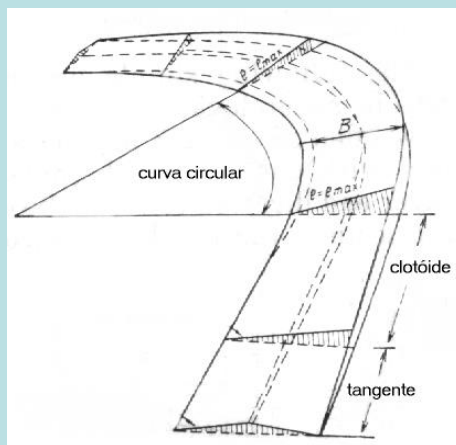
$$L_{S\min}(m) = \frac{V^3 (km/h)}{46.656 \frac{da}{dt} R} - \frac{V(km/h) \times (S_e + f_a)}{0.367 \frac{da}{dt}} \quad (da_c/dt \text{ não deve ultrapassar } 0.5 \text{ m/s}^3)$$

exemplo: se $v = 140 \text{ km/h}$, $R = 1000 \text{ m}$, $S_e = 3.5\%$, $f_a = 4\%$, $L_S^{\min} (m) = 53.0 \text{ m}$

$$A \geq (v_{(km/h)}^2/R - 127(S_e + f_a))v_{(km/h)}R / (46.656 da_c/dt)$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

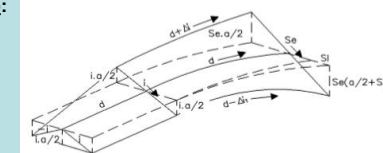
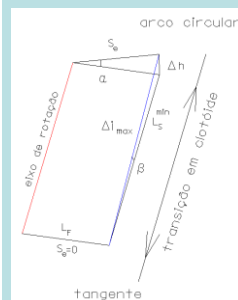
A transição da sobreelevação é efectuada ao longo da curva de transição. A escolha do eixo de rotação depende do tipo de inclinação transversal no alinhamento recto, do valor da sobreelevação e das condições locais. A posição do eixo de rotação influencia o valor da declividade da transição da sobreelevação.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

3. Critério da rampa máxima de disfarce da sobreelevação: este critério baseia-se no controlo da elevação dos bordos da faixa de rodagem em relação ao eixo de rotação da estrada (este ângulo está associado à velocidade de rotação transversal dos veículos), tendo em vista o conforto e a segurança no percurso dos troços em transição.

Para o efeito são fixados valores limite para a **rampa de sobreelevação**, que resulta da **diferença de inclinação longitudinal entre o perfil do eixo da estrada e o perfil do bordo da estrada mais afectado pela sobreelevação**:



L_F = largura da faixa de rodagem,

Δi_{max} = rampa de sobreelevação máxima,

S_e = sobreelevação

$$\tan \alpha = \Delta h / L_F = S_e \Rightarrow \Delta h = S_e \cdot L_F$$

$$\tan \beta = \Delta h / L_s^{min} = \Delta i_{max} \Rightarrow \Delta h = \Delta i_{max} \cdot L_s^{min}$$

$$L_s^{min} = S_e \cdot L_F / \Delta i_{max}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O valor de Δi_{\max} é dependente da velocidade base.

Para o **caso básico** de uma estrada com uma faixa de rodagem em cada sentido e disfarce de sobreelevação mediante rotação da secção transversal em torno do eixo, adoptam-se os seguintes valores para a **rampa de sobreelevação**:

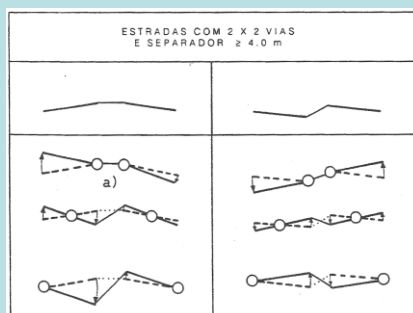
| | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V (km/h) | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | ≥ 100 |
| Δi_{\max} (m/m) | 1/137 | 1/154 | 1/169 | 1/185 | 1/200 | 1/213 | 1/233 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

No **caso mais complexo** de disfarces de sobreelevação que envolvam a rotação simultânea de mais do que uma faixa de rodagem em torno de um eixo de rotação coincidente com um dos bordos da estrada, a variação das elevações do outro bordo da estrada em relação ao eixo de rotação é efectuada a um ritmo mais acentuado.

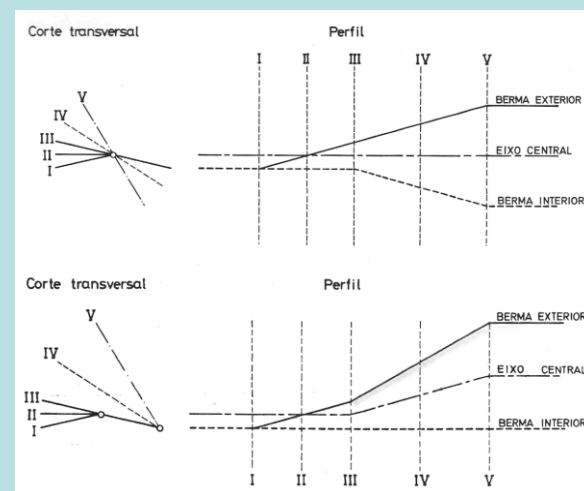
| | |
|---|-------------------------|
| $\Delta i(\min) = 0,1 \times a$ (%) com a - largura da via | |
| Declividade máxima da transição da Sobreelevação, $\Delta i(\max)$ | |
| Velocidade de tráfego (km/h) | $\Delta i(\max)$, em % |
| < 40 | 1,5 |
| $40 \leq v \leq 80$ | 1,0 |
| > 80 | 0,8 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Na transição da tangente para a curva, a escolha do eixo de rotação depende do tipo de inclinação transversal no alinhamento recto, do valor da sobrelevação e das condições locais. Actualmente, nas estradas com duas faixas de rodagem, preconiza-se a rotação em torno do eixo da faixa de rodagem; nas estradas com faixas de rodagem unidireccionais, a rotação deve ser efectuada em torno do bordo interior de cada uma das faixas de rodagem.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Critério óptico, aplicável para **R>800 m**: o ângulo de deflexão deve ser, no mínimo, de 3°, o que implica

$$L_{S\min} = \frac{R}{9}$$

O desenvolvimento mais conveniente será o correspondente ao valor mais elevado dos 4 critérios; para curvas com pequeno raio, o critério da comodidade prevalece enquanto que para curvas de grande raio é o critério da percepção óptica que prevalece.

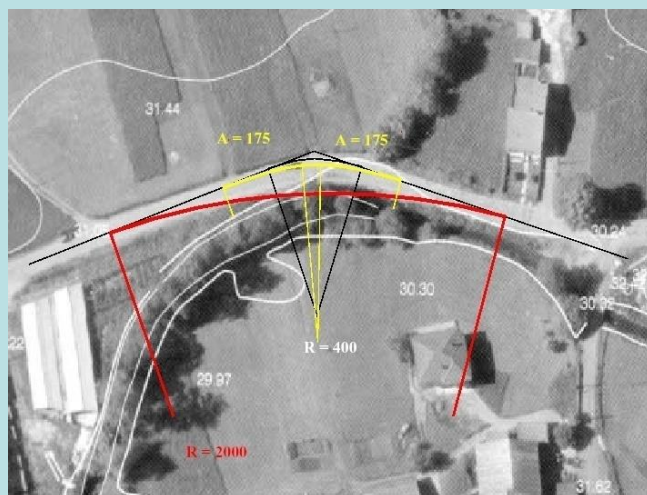
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O valor máximo $L_{S\max}$ do desenvolvimento de uma clotóide corresponde à situação em que o arco circular original desaparece, (obtendo-se duas clotóides a ligar as duas tangentes), isto é

$$I - 2\Delta = 0 \Rightarrow \Delta = \frac{I}{2} \quad \Rightarrow \quad L_{S\max} = \frac{200\Delta}{D_a} = 2R\Delta$$

A escolha de um desenvolvimento muito grande gera um valor grande do **afastamento da curva circular**, recomendando-se a utilização de **$L_S = 2L_{S\min}$** .

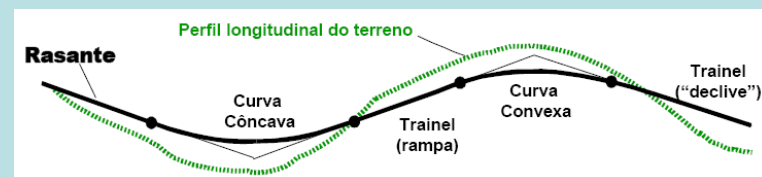
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **rasante** é a linha definida pela intersecção do eixo da estrada com a superfície do pavimento e representa-se planificada (não projectada) num plano vertical.

Para relacionar a estrada com o terreno, a rasante é sempre associada ao **perfil longitudinal** do terreno (intersecção do eixo da estrada com a superfície do terreno natural).



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O perfil longitudinal é constituído por **trainéis** (alinhamentos rectos, caracterizados pela respectiva inclinação) e **curvas de concordância verticais** (normalmente arcos de parábola).

A definição da rasante deve ter em consideração a topografia, o traçado em planta, a distância de visibilidade, a segurança, os custos de construção, a drenagem e a integração no meio ambiente.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **inclinação máxima** dos trainéis está indicada no quadro seguinte:

| Velocidade base (km/h) | Inclinação máxima desejável (%) |
|------------------------|---------------------------------|
| 40 | 8 |
| 60 | 7 |
| 80 | 6 |
| 100 | 5 |
| 120 | 4 |
| 140 | 3 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Em muitos casos é necessário proceder a **escavações ou aterros** e, no limite, à construção de **túneis ou viadutos**, o que, atendendo aos movimentos de terras necessários, tem como resultados que a via de comunicação se encontra acima ou abaixo do nível do terreno circundante.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

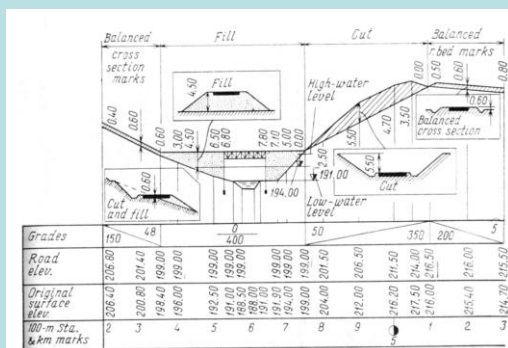
Devem **evitar-se trainéis com inclinação muito pequena**, sobretudo quando coincidem com uma sobrelevação também diminuta. Assim, a **inclinação mínima** dos trainéis deverá ser 0.5% de forma a **assegurar uma drenagem satisfatória das águas superficiais**.

A **inclinação máxima** permitida só por si não assegura a segurança do tráfego nos trainéis; com efeito, é necessário considerar também a respectiva **extensão**, como se pode verificar no quadro:

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

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Para tornar o perfil longitudinal da via de comunicação mais perceptível, este é normalmente **sobrelevado** 10 vezes em relação ao eixo horizontal (um perfil longitudinal mostra normalmente o perfil topográfico existente, assim como o perfil proposto para o eixo).

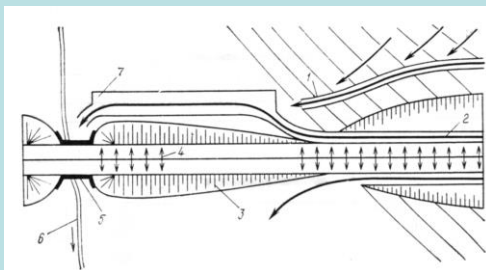


Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Nos alinhamentos rectos a inclinação transversal é normalmente utilizada para efectuar a **drenagem** da águas pluviais. Nas estradas com duas vias, o pavimento é geralmente inclinado para ambos os lados a partir do eixo – **perfil em V invertido**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Quando o **nível freático** estiver próximo da superfície do terreno natural, a rasante deve ficar suficientemente afastada daquele, pois a **infiltração de água no subsolo** pode degradar a consistência de toda a estrutura; assim, é indispensável dispor de um esquema de drenagem eficiente que remova a água da precipitação:

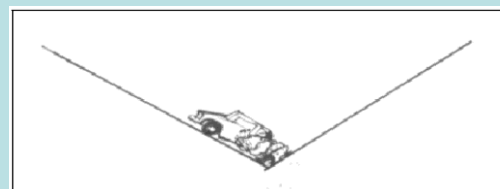


drenagem



1=vala de intersecção; 2=vala de drenagem; 3=talude; 4=pavimento inclinado; 5=aqueduto subterrâneo; 6=linha de água

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

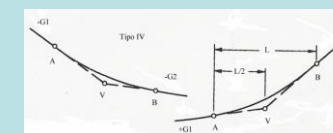
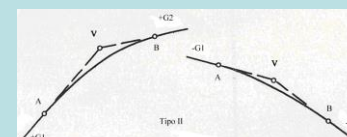
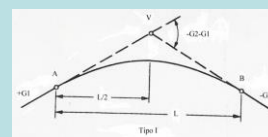


De forma semelhante ao caso horizontal, onde se introduziram curvas de transição para evitar descontinuidades na variação da curvatura ao longo da directriz, **no caso vertical unem-se as tangentes adjacentes de diferentes declive através de arcos de parábola**, devido à sua simplicidade e à variação constante de gradiente ao longo da curva. Há a considerar duas formas para estas curvas: convexas e côncavas.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

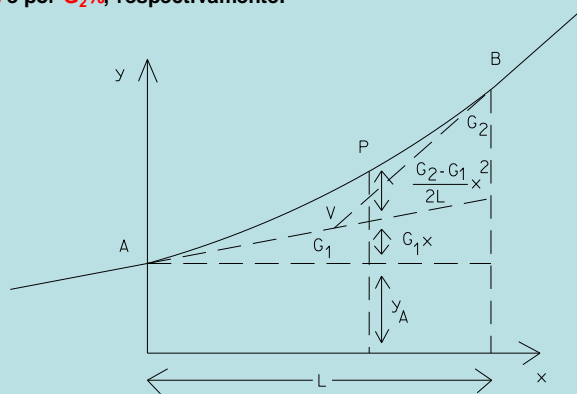
O gradiente de uma tangente é normalmente expresso como 1 em x, isto é uma unidade na vertical corresponde a x unidades na horizontal, em que 1 em x = $100\%/x$, isto é, 1 em 5 = 20 %. Os gradientes subindo da esquerda para a direita consideram-se positivos.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O ponto **A** representa o **início** da curva vertical, **V** o ponto de **intersecção** das duas tangentes e **B** o ponto **final** da curva vertical; o comprimento ou amplitude da curva vertical representa-se por **L** e os declives das tangentes por **G₁%** e por **G₂%**, respectivamente.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Considera-se um referencial cujo eixo y contém o ponto A e cujo eixo x define o datum vertical; da equação geral da parábola $y = ax^2 + bx + c$, tem-se que o declive em cada ponto da curva é dado por $\frac{dy}{dx} = 2ax + b$ e que a taxa de variação do declive ao longo da curva (constante) é dada por $\frac{d^2y}{dx^2} = 2a$. Assim, para o caso que interessa considerar, de $\frac{d^2y}{dx^2} = r = \text{constante}$ tem-se por integração:

$$\frac{dy}{dx} = rx + H, \text{ em que para } \begin{cases} x = 0: G_1 = \frac{dy}{dx} = H \\ x = L: G_2 = \frac{dy}{dx} = rL + H \end{cases} \Rightarrow G_2 - G_1 = rL \Rightarrow r = \frac{G_2 - G_1}{L}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Portanto

$$\frac{dy}{dx} = \frac{G_2 - G_1}{L} x + G_1$$

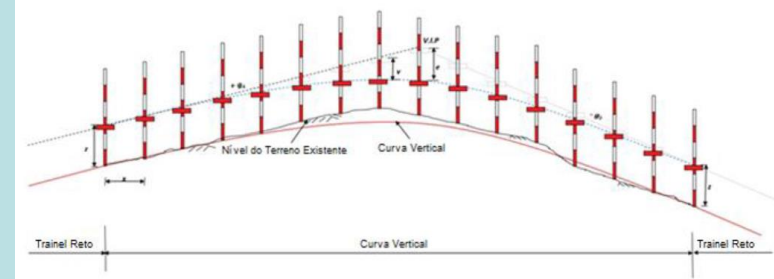
$$y_p = \frac{G_2 - G_1}{2L} x^2 + G_1 x + y_A$$

A abscissa do máximo ou mínimo da curva vertical obtém-se de

$$\frac{dy}{dx} = \frac{G_2 - G_1}{L} x + G_1 = 0 \Rightarrow x_M = -\frac{G_1 L}{G_2 - G_1}$$

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Implantação de curvas verticais



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Quando o comprimento do trainel seja tal que o respectivo declive cause uma diminuição de pelo menos 20 km/h em veículos com carga máxima, deve ser introduzida uma **faixa adicional no sentido ascendente**, em especial quando o volume de tráfego seja elevado.

Em traineis longos (extensão superior a 2 km), no **sentido descendente** (inclinação superior a 6%), a inclusão de **escapatórias** pode revelar-se útil para travar e/ou imobilizar veículos com falhas mecânicas de travagem.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Podem considerar-se 4 tipos básicos de escapatórias, em função das condições topográficas: monte de areia, declive, patamar e rampa, sendo o material utilizado de grande importância. A resistência ao movimento dos diversos materiais utilizados está indicada no quadro:

| Material utilizado no revestimento | Resistência ao movimento (lb/1000 lb) | Declive correspondente (%) |
|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Cimento | 10 | 1.0 |
| Asfalto | 12 | 1.2 |
| Cascalho compactado | 15 | 1.5 |
| Agregado de gravilha | 50 | 5.0 |
| Cascalho não compactado | 100 | 10.0 |
| Areia | 150 | 15.0 |

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Critérios de concepção de estradas variam com o tipo de via em análise:

a) em vias de menor importância, valoriza-se a economia do traçado, o impacto nas propriedades adjacentes e a sua integração no meio ambiente.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

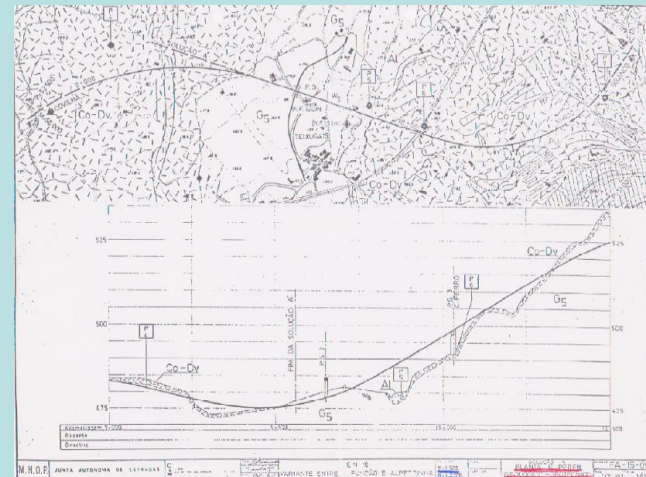
b) em vias de maior importância, valoriza-se os critérios da segurança rodoviária e da estética, embora a procura de um traçado económico não possa ser ignorada.



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

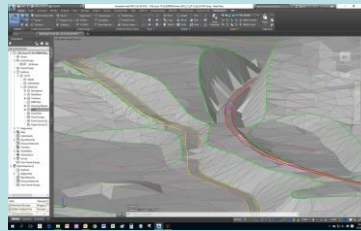
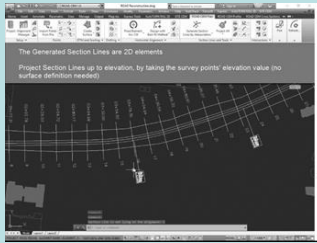
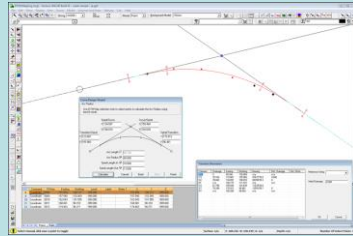
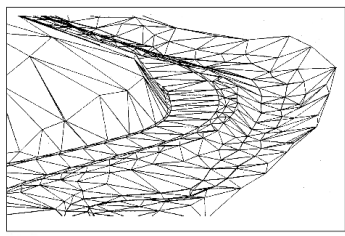
A intersecção da superfície topográfica com a **superfície vertical que contém a directriz, convenientemente planificada**, determina no espaço o **perfil longitudinal** do terreno, que pode ser matematicamente representada por uma equação da forma $z=g(w)$, onde w é a distância medida ao longo da directriz. Tomando como base o perfil longitudinal, o projectista define a **rasante**, que especifica a posição da estrada a ser construída relativamente ao terreno. O posicionamento da rasante deve atender a diversos critérios como por exemplo o comprimento máximo dos traneis, função da velocidade base do projecto; outro critério consiste na minimização (do custo) da terraplenagem necessária para a construção da estrada.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Projecto “clássico”, em papel

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



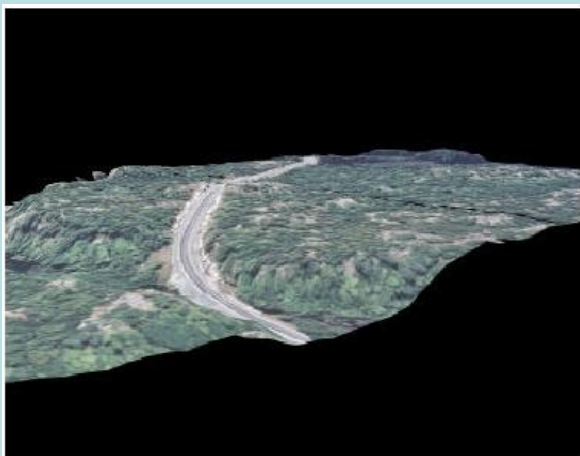
Projectos em CAD

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

| Plano horizontal | Plano vertical longitudinal | Elemento geométrico espacial resultante |
|------------------|-----------------------------|---|
| → recta | ↑ recta | recta com inclinação constante |
| → recta | ↑ curva | concavidade numa recta |
| → recta | ↑ curva | convexidade numa recta |
| → curva | ↑ recta | curva com inclinação longitudinal constante |
| → curva | ↑ curva | concavidade numa curva |
| → curva | ↑ curva | convexidade numa curva |

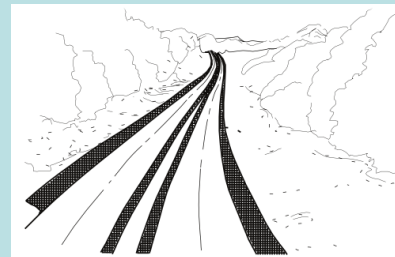
Elementos espaciais do traçado segundo a perspectiva do condutor do veículo

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

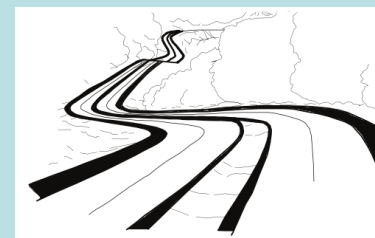


Boa coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Boa coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal



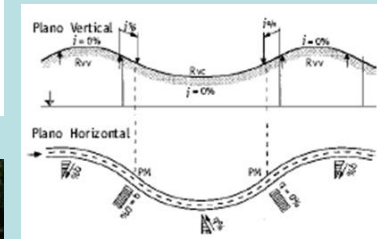
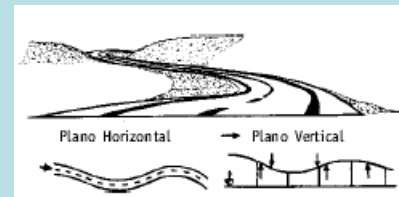
Má coordenação do traçado em planta e perfil longitudinal

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Um traçado **pode** respeitar integralmente as normas em planta e perfil e a estrada uma vez construída apresentar-se desagradável e **não** assegurar a segurança e comodidade de circulação. Na escolha da localização do traçado deve-se sempre tentar visualizar a estrada uma vez concluída e avaliar as consequências das possíveis **combinações de traçado em planta e perfil**, respeitando os seguintes princípios:

- 1) a sobreposição das curvas em planta e perfil melhoram o aspecto visual da estrada
- 2) não se devem fazer coincidir curvas verticais de pequeno desenvolvimento com curvas horizontais
- 3) utilizar curvas horizontais de raio grande e desenvolvimento também grande em vez de alinhamentos rectos com curvas de pequena extensão

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

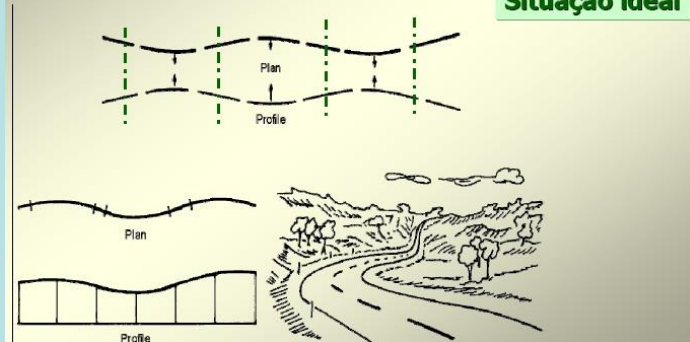


Sintonia de elementos no plano horizontal e vertical

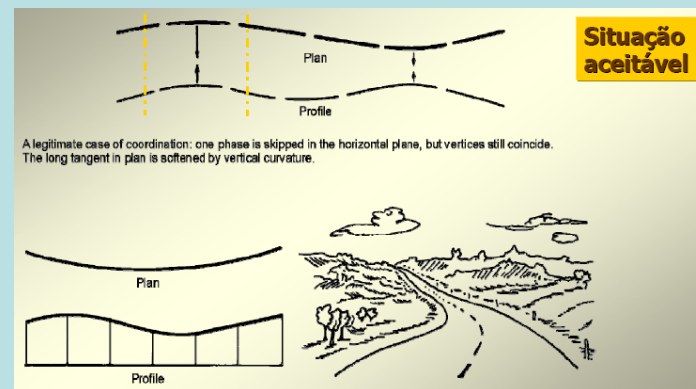
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A «**REGRA**» é localizar as curvas verticais em alinhamentos rectos e em zonas afastadas das curvas em planta, ou sobrepô-las às curvas em planta.

Situação ideal

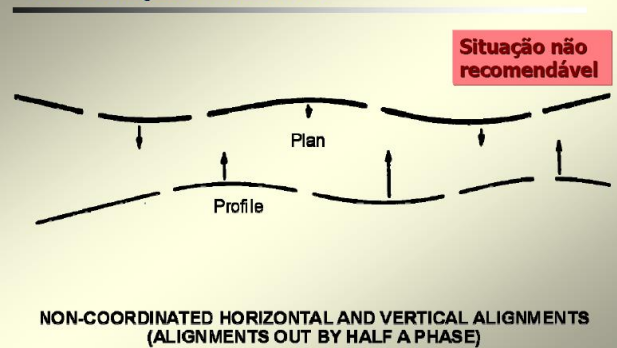


Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Coordenação Planta-Perfil



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Mau traçado em planta (raio diminuto)



Mau traçado em perfil (concordância diminuta): o raio de uma curva vertical entre trainéis extensos deve ser muito superior aos mínimos indicados nas normas.



Mau traçado em planta (pequeno alinhamento entre duas curvas com o mesmo sentido): os alinhamentos rectos entre duas curvas circulares consecutivas com o mesmo sentido devem ter um comprimento que corresponda a um tempo de percurso mínimo de 5 segundos. Se isso não for possível, é preferível substituir as duas curvas e o alinhamento recto por uma curva única

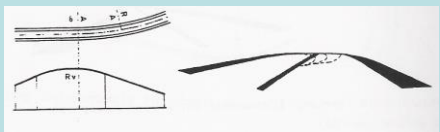
Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Mau traçado em perfil (pequeno tranelo entre duas concordâncias côncavas): entre duas curvas verticais próximas deve-se evitar colocar um tranelo de reduzida extensão.

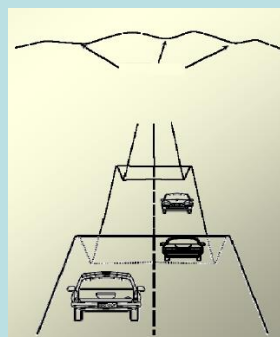


Mau traçado em perfil (perda do traçado)



Início da curva circular após concordância convexa, o que impede ver a mudança de direção em planta

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



perda do traçado

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Início de curva circular após uma concordância côncava, provocando uma quebra do traçado



Curva circular de grande raio e concordância côncava de pequeno raio, provocando quebra do traçado em planta

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Concordância côncava após uma curva circular provocando quebra do traçado e estreitamento óptico da estrada



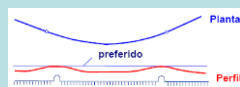
Concordância côncava entre duas curvas circulares provocando quebra e estreitamento óptico da estrada

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

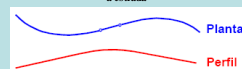
Trechos em tangente: pequenas depressões localizadas em rampas longas, resultantes de excesso de cuidado para equilibrar os volumes de corte e aterro, devem ser evitadas



Trechos em curva: lombas curtas devem ser evitadas



Visualização à distância de lombas: possível quando não há obstáculo lateralmente à estrada



Tangente curta entre curvas horizontais, no topo de uma curva vertical convexa: difícil a percepção da segunda curva



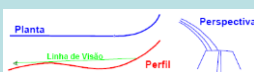
Curva horizontal começando no ponto mais baixo da curva vertical côncava com rampas longas: cria aparência de curva circular com raio mínimo



O início da curva horizontal é escondido por uma curva vertical convexa, enquanto a continuação da curva é visível para o motorista



A coincidência das curvas horizontais e verticais resulta em boa aparência



A oposição das curvas horizontais e verticais resulta em boa aparência



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

A **faixa a expropriar** compreende todos os terrenos necessários ao projecto (movimento de terras, drenagem, obras de arte, etc.). A implantação no terreno dos limites da área a expropriar reveste-se da maior importância, pois visa dar a conhecer aos proprietários e aos avaliadores as zonas que vão ser objecto de expropriação. Os vértices da linha limite de expropriações são referidos com números pares consecutivos do lado direito e ímpares do lado esquerdo, relativamente ao sentido crescente da quilometragem. As **estacas** utilizadas para o efeito são convencionalmente pintadas de **azul** (enquanto que as **estacas** que definem o eixo são pintadas a **encarnado**).

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

O projecto de expropriações é constituído por três partes distintas: a **memória descritiva e justificativa**, que relaciona este projecto com as restantes peças do projecto que interferem no estabelecimento dos limites da faixa a expropriar, **as peças desenhadas** (planta topográfica de expropriações, planta parcelar de expropriações e planta dos serviços afectados) e **as fichas de identificação e mapas de áreas**.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Na **planta topográfica** de expropriações (escala 1/2000) inclui-se toda a informação planimétrica e altimétrica, os limites da faixa a expropriar, a directriz do traçado, as linhas de crista das escavações e da base dos aterros, as obras de arte e os eixos dos restabelecimentos ou nós de ligação.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

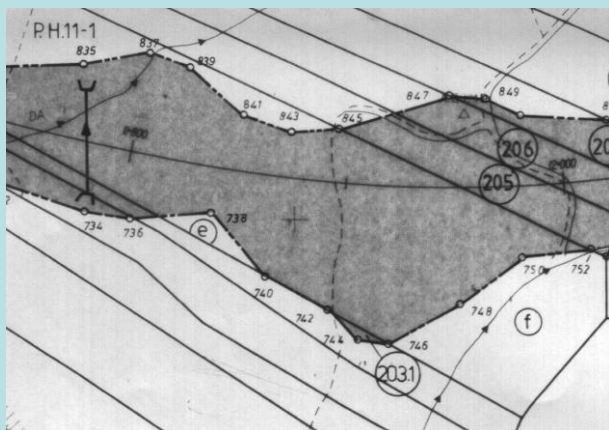
A **planta parcelar de expropriações** (escala 1/2000) é uma planta (de formato A1) de cadastro geométrico dos prédios atingidos, que são delimitadas e identificadas as parcelas objecto de expropriação e onde são assinalados os vértices da poligonal de apoio. Nestas cartas inclui-se a informação planimétrica, assim como informação administrativa. Inclui-se igualmente a directriz do traçado.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

Há diversas regras quanto à representação dos prédios, como por exemplo: nenhum prédio pode ser dividido por duas folhas de desenho (isto é, cada folha deve conter os prédios na totalidade, não fraccionados, exceptuando-se naturalmente os prédios de grandes extensões ou áreas); todos os prédios são numerados de forma crescente no sentido da quilometragem.

Deve garantir-se o acesso a todos os prédios encravados e a parcelas sobranes não expropriadas, assim como o restabelecimento de caminhos de carácter público.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

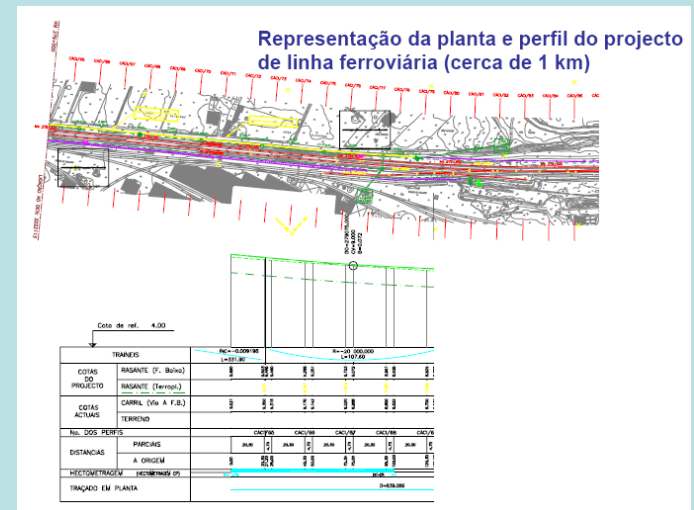
O mapa de áreas, elaborado a partir das plantas parcelares e da ficha de identificação, inclui as áreas de acordo com as referências da Matriz e da Conservatória. Sempre que se verificarem diferenças entre a área do prédio medida na planta de cadastro e a constante na matriz cadastral, é necessário esclarecer essa diferença.

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

SEQUÊNCIA DAS PRÁTICAS TOPOGRÁFICAS NAS CONSTRUÇÃO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO

- 1.Criação do sistema de apoio para a execução da obra (poligonal ou outro tipo de pontos de apoio)
- 2.Implantação do eixo e levantamento de perfis do relevo original para verificação das quantidades previstas no projecto
- 3.Marcação definitiva dos limites para expropriação ou limite da intervenção
- 4.Implantação de estacas para aterro ou escavação (taludes, banquetas, plena via, etc)
- 5.Medição e cálculo (normalmente mensal) de volumes extraídos ou aterrados para facturação
- 6.Quando se chega ao fundo de caixa, começa a marcação das camadas que constituem a via de comunicação (implantação da base)
- 7.Materialização de pontos, nivelamento geométrico, para colocação dos betuminosos (asfaltos)
- 8.Marcação da sinalização
- 9.Telas finais: desenhos finais da obra, com todas as alterações (plantas e perfis). Este trabalho pode implicar que sejam feitos alguns levantamentos no final da obra

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação

MATERIALIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE APOIO

Ficha de Identificação do ponto de apoio

| Nome do ponto | Coordenadas UTM | Altitude | Observações |
|---------------|-----------------|----------|--------------------|
| 27BA | 500000 | 1000 | Estaca de concreto |

| Nome do ponto | Coordenadas UTM | Altitude | Observações |
|---------------|-----------------|----------|--------------------|
| 27BA | 500000 | 1000 | Estaca de concreto |

Exemplo de um ponto de apoio: pilarete em cimento

Posicionamento Geoespacial II – vias de comunicação



bulldozer



compactador



O raio chega mais baixo...
A lâmina deverá baixar para nivelar

O raio chega ao centro...
Não necessita corrigir para nivelar

O raio chega mais alto...
A lâmina deverá subir para nivelar