

# Projeto Geométrico Vertical

## Aula 7

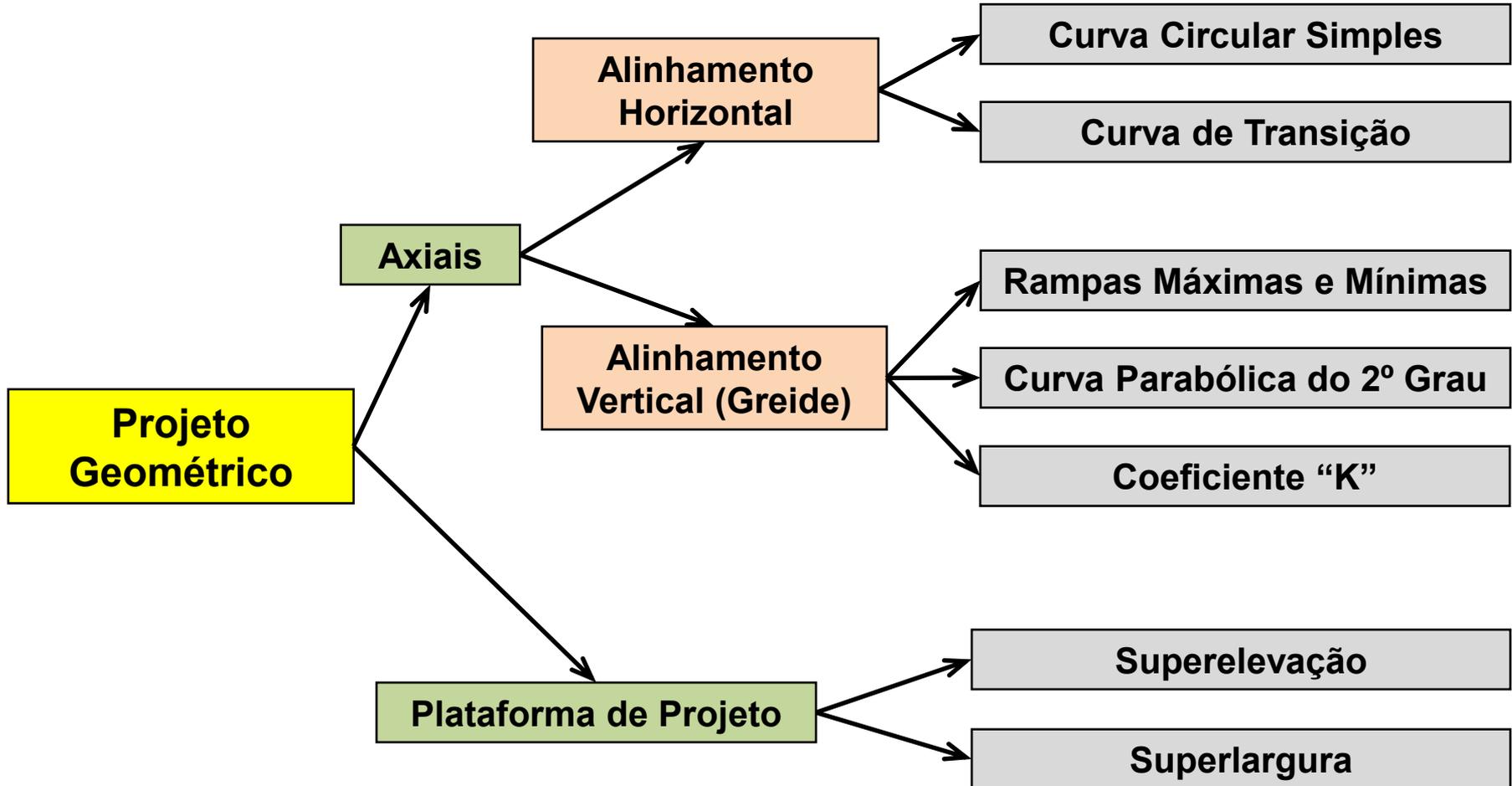


# Conteúdo

1. Elementos básicos do projeto geométrico
2. Elaboração do projeto geométrico de rodovia em planta
3. Superelevação e Superlargura
4. Elaboração do projeto geométrico de rodovia em perfil
5. Noções Básicas do Projeto geométrico de ferrovias
6. Envoltentes de ordem ecológica

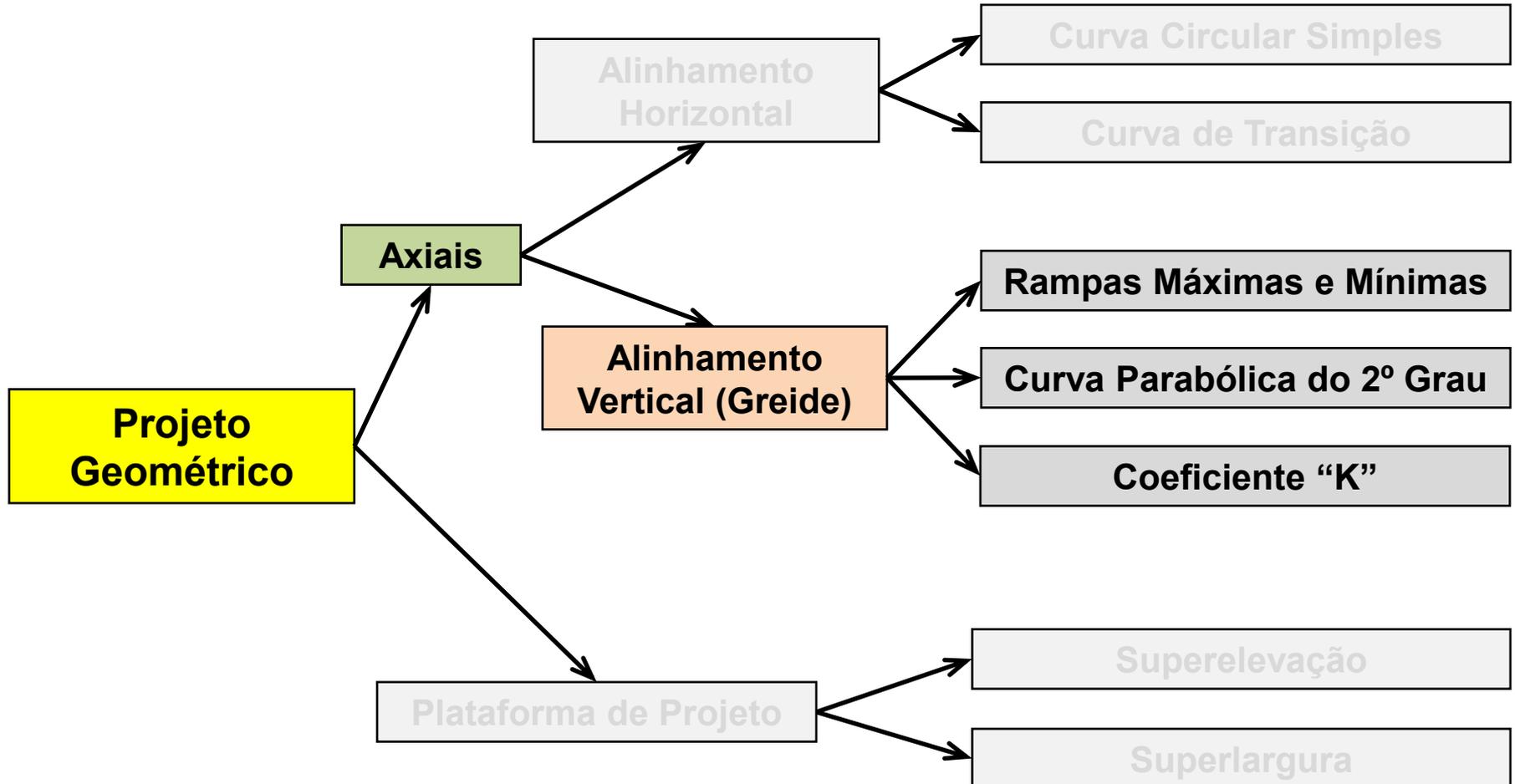
# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## Elementos do Projeto Geométrico de uma Rodovia Rural



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## Elementos do Projeto Geométrico de uma Rodovia Rural



## Desenvolvimento Teórico da Curva de Transição

Est. (Início)

$$\text{Est. (TS)} = \text{Est. (Início)} + d1$$

$$\text{Est. (SC)} = \text{Est. (TS)} + LC$$

$$\text{Est. (CS)} = \text{Est. (SC)} + D'$$

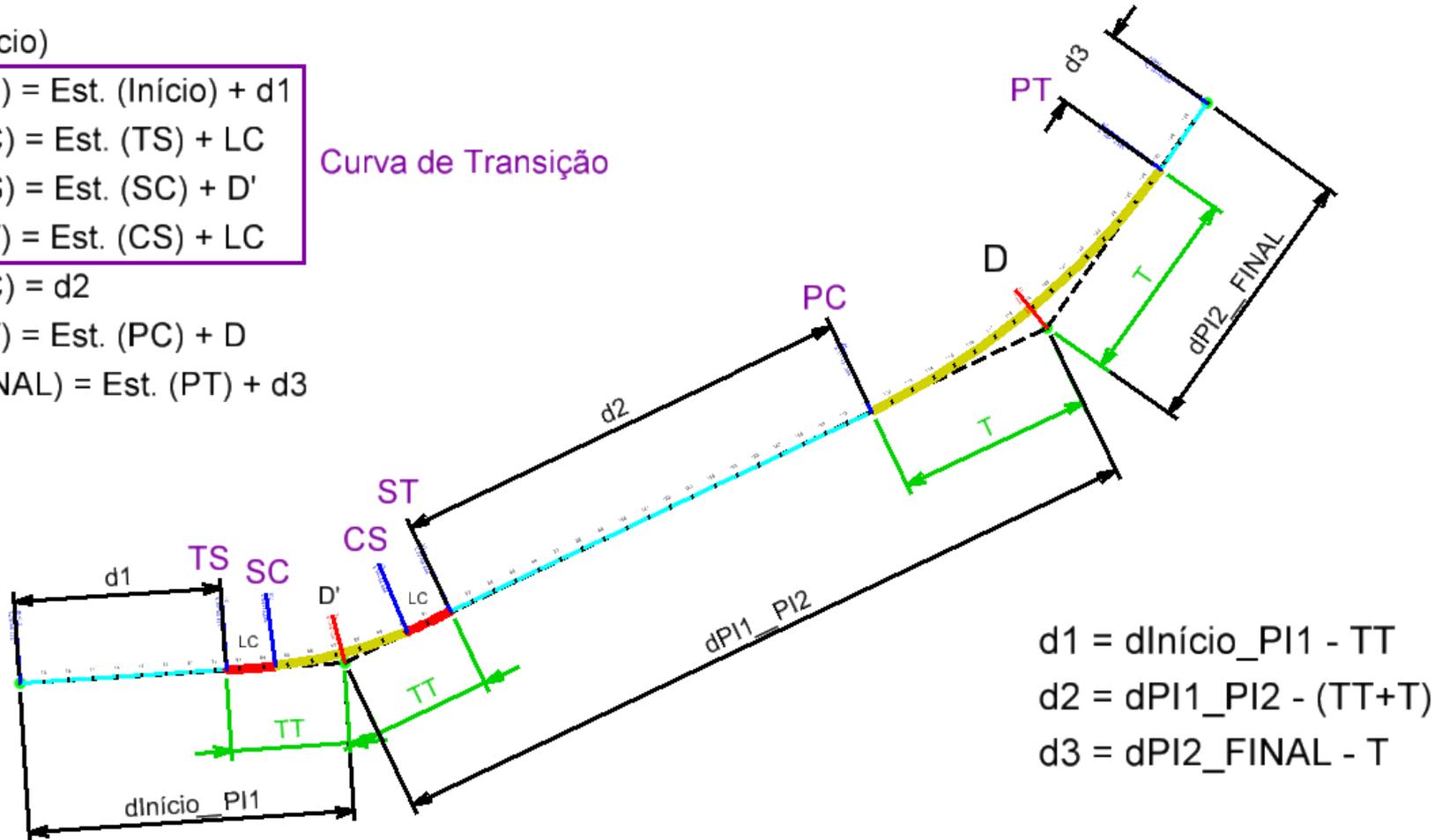
$$\text{Est. (ST)} = \text{Est. (CS)} + LC$$

$$\text{Est. (PC)} = d2$$

$$\text{Est. (PT)} = \text{Est. (PC)} + D$$

$$\text{Est. (FINAL)} = \text{Est. (PT)} + d3$$

Curva de Transição



$$d1 = d_{\text{Início\_PI1}} - TT$$

$$d2 = d_{\text{PI1\_PI2}} - (TT+T)$$

$$d3 = d_{\text{PI2\_FINAL}} - T$$

# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

$i_{min}\% \leq i\% \leq i_{max}\%$

$i_{max}\%$  = Questões Operacionais e de segurança = Varia com a Classe

$i_{min}\%$  = Questões Drenagem = Corte (0,50%) e Aterro (0,35%)

DNIT = Corte ou Aterro (0,35%)

Rampa =  $i_1\% = +10\%$

Active

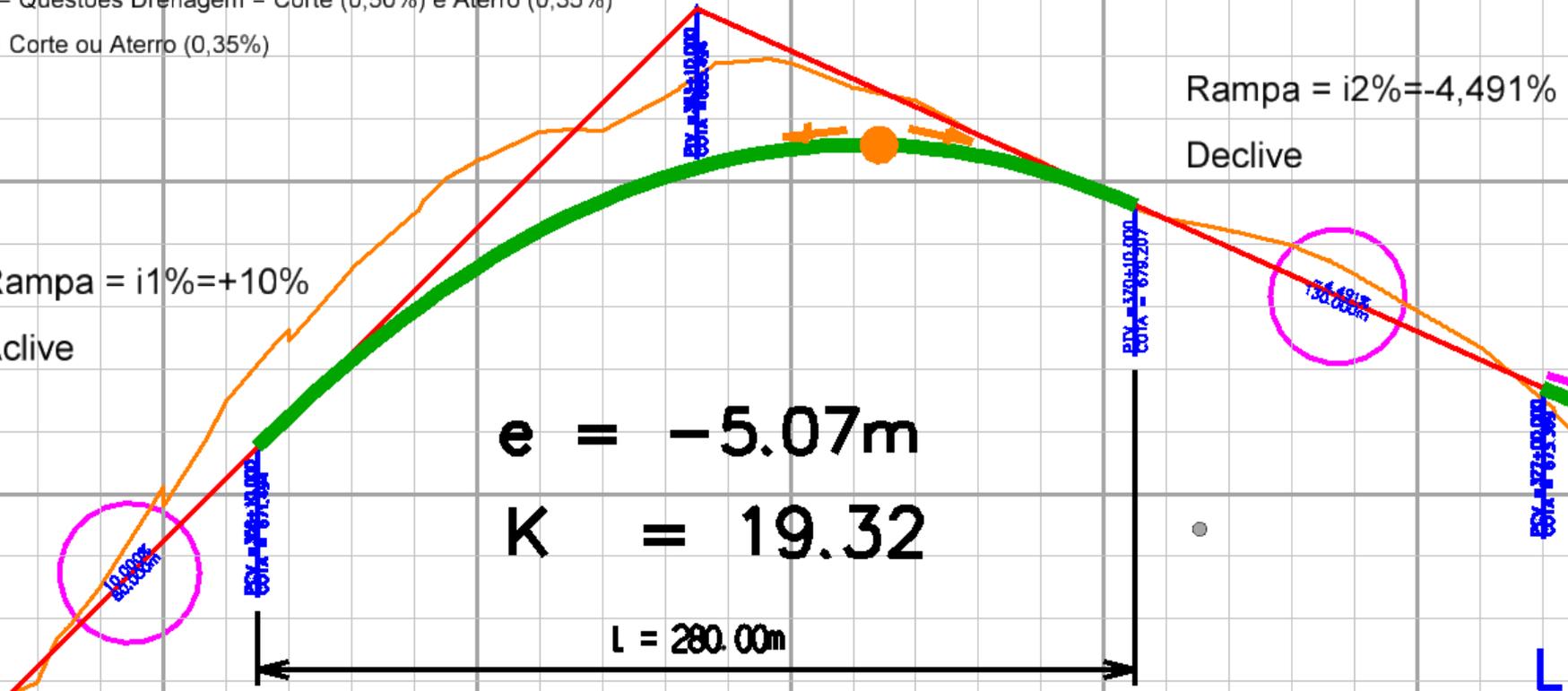
Rampa =  $i_2\% = -4,491\%$

Declive

$$e = -5.07m$$

$$K = 19.32$$

$$L = 280.00m$$



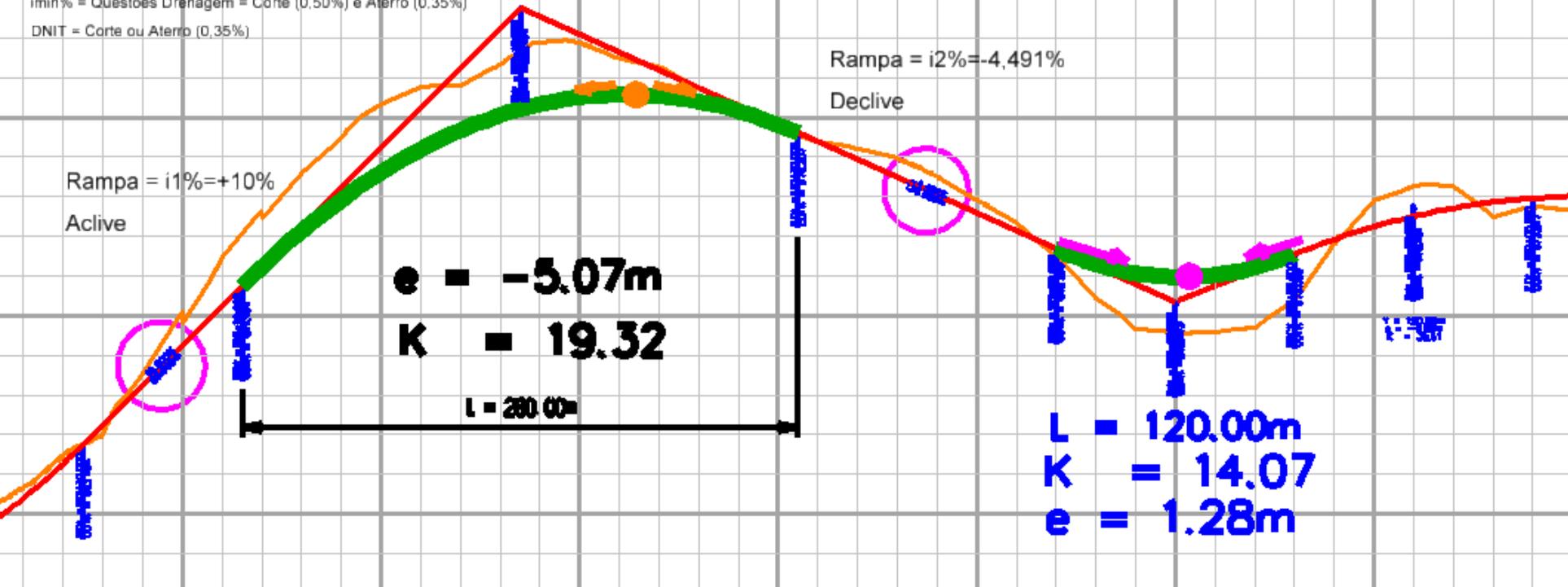
# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

$i_{min}\% \leq i\% \leq i_{max}\%$

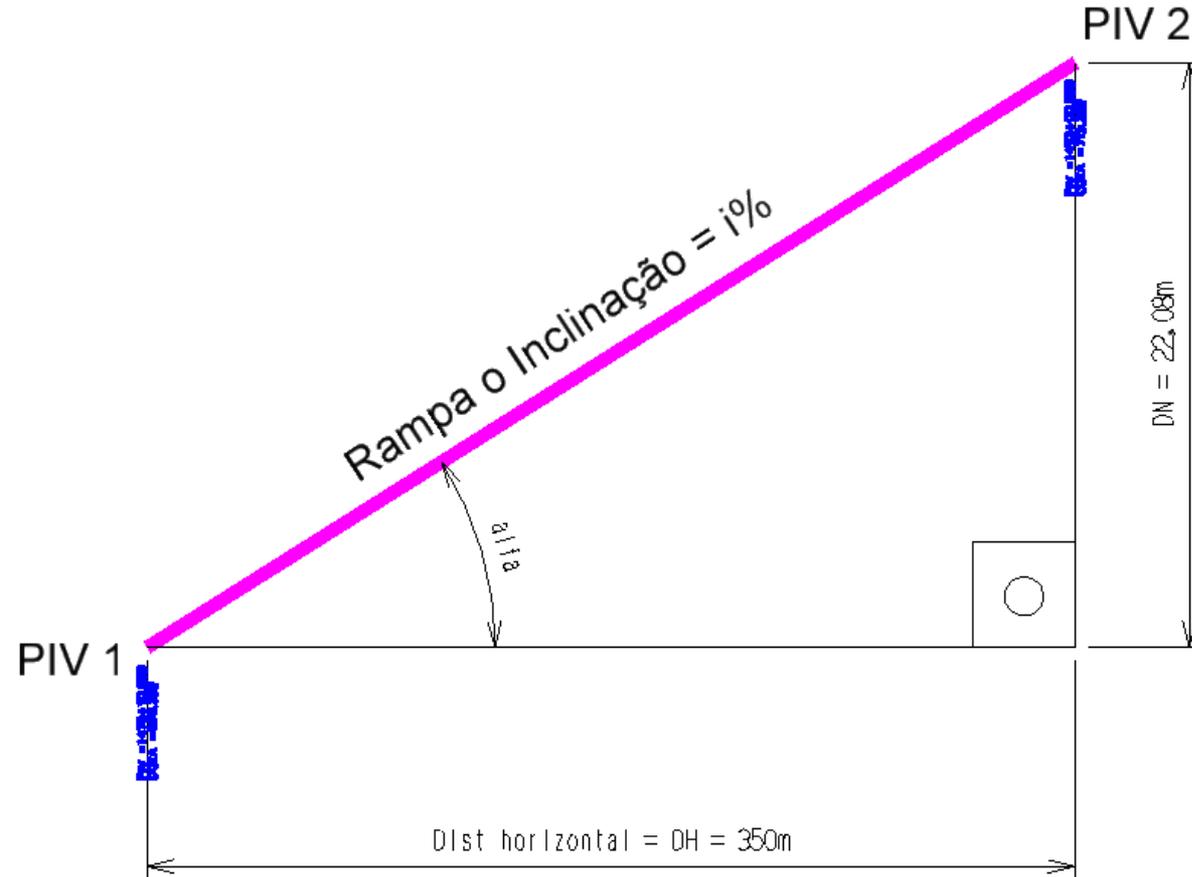
$i_{max}\%$  = Questões Operacionais e de segurança = Varia com a Classe

$i_{min}\%$  = Questões Drenagem = Corte (0.50%) e Aterro (0.35%)

DNIT = Corte ou Aterro (0.35%)



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil



Declividade

$$tg \alpha = D = DN/DH$$

INCLINAÇÃO = RAMPA

$$i\% = D \times 100$$

$$i\% = (DN/DH) \times 100$$

$$i\% = (22,08/350) \times 100$$

$$i\% = 6,308\%$$

$$i\% = 6,308\% = 6,308/100 = DN/DH$$

EX2:

$$i\% = 5\% = 5/100 = DN/DH$$

$$DN = 5$$

$$DH = 100$$

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical (GREIDE)

### Perfil Longitudinal do Terreno

É a representação no plano vertical das diferenças de nível, cotas ou altitudes, obtidas do resultado de um nivelamento feito ao longo do eixo de uma estrada.

### Greides Retos

Linhas retas com aclives e declives interligadas por Pontos de inflexão Vertical

### Greide de uma estrada

São linhas de declividade regular que tem como finalidade substituir as irregularidades naturais do terreno, possibilitando o seu uso para fins de projeto. A sua representação, no plano vertical, corresponde a um perfil constituído por um conjunto de retas, concordado por curvas parabólicas do 2º Grau, que, no caso de um projeto rodoviário, irá corresponder ao nível atribuído à estrada.

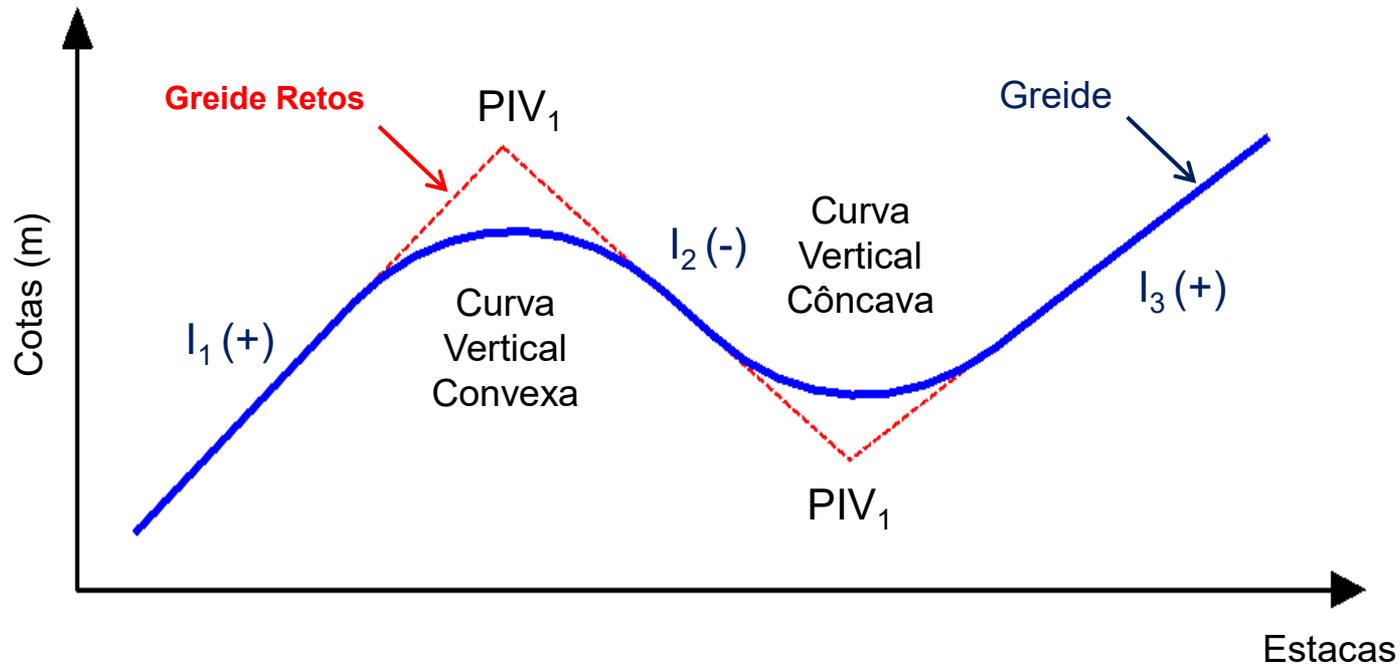
# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## Greides Retos

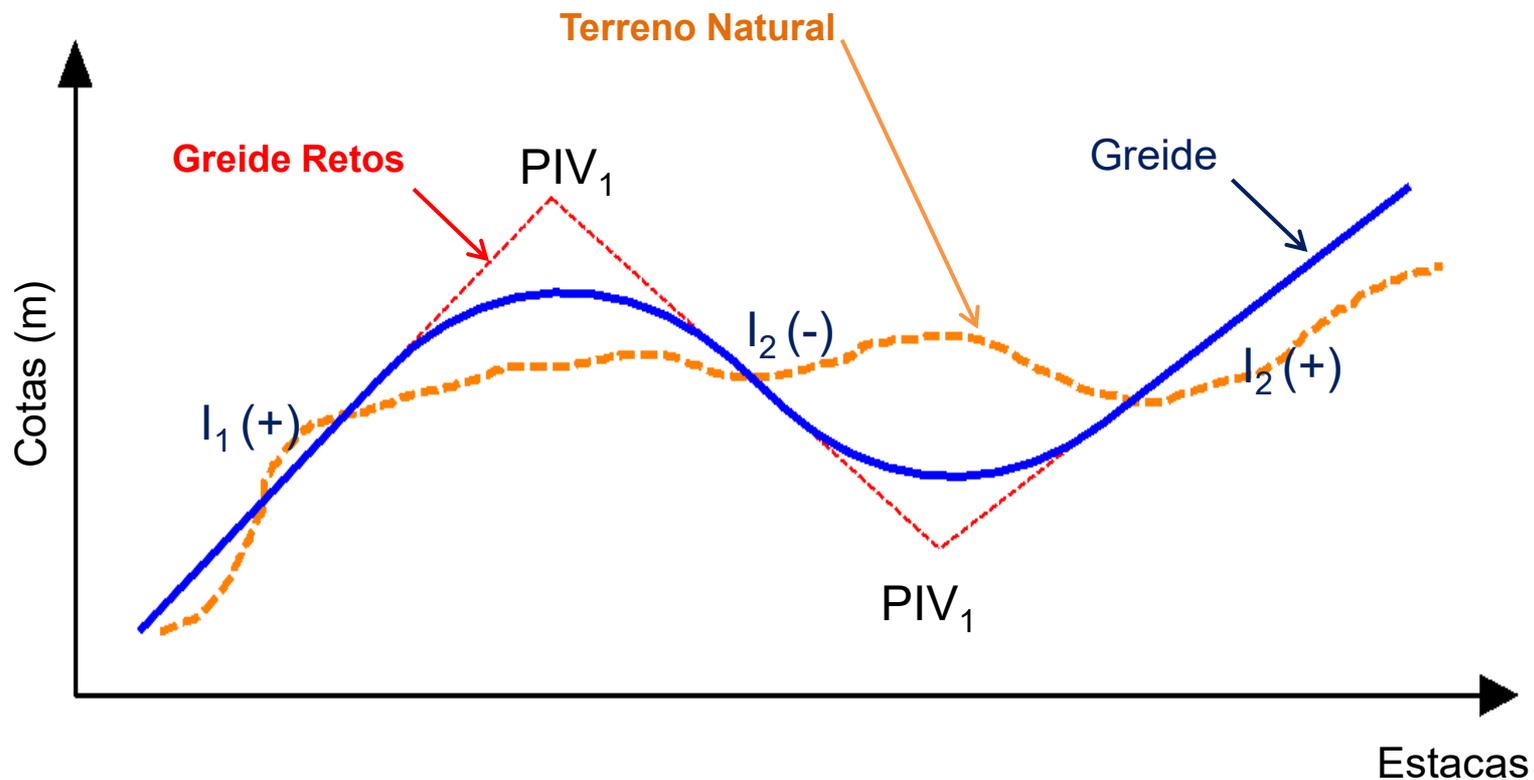
Quando possuem uma inclinação constante em um determinado trecho.

## Greides Curvos

Quando se utiliza uma curva de concordância para concordar os greides retos. A curva normalmente utilizada para este tipo de concordância é a Parábola do 2º grau.

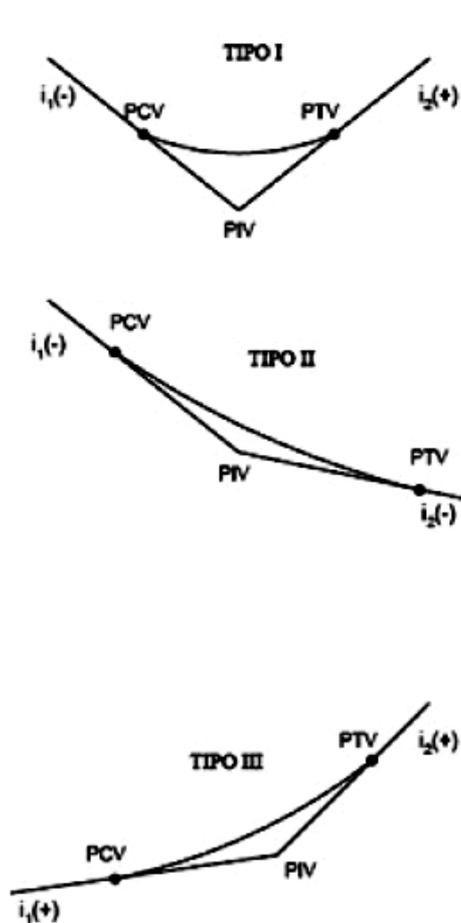


## Perfil Longitudinal com Projeto Geométrico Vertical

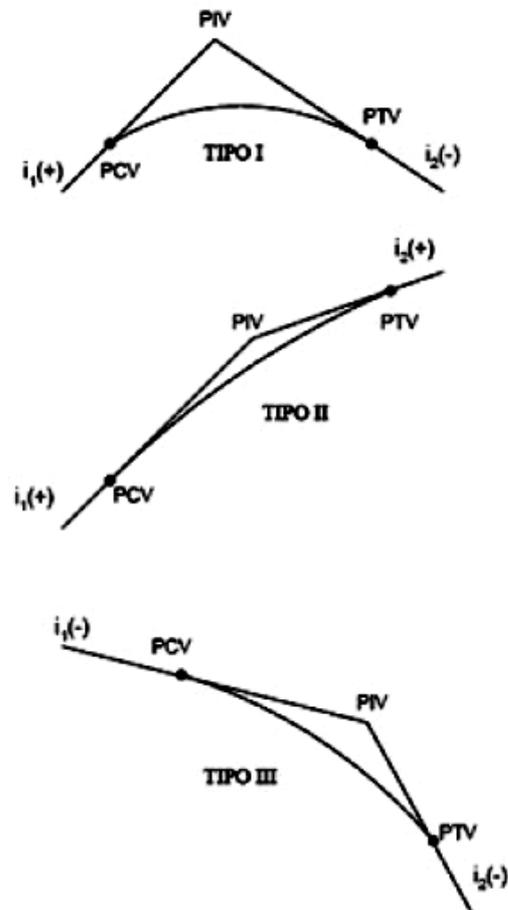


# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## CURVAS CÔNCAVAS



## CURVAS CONVEXAS



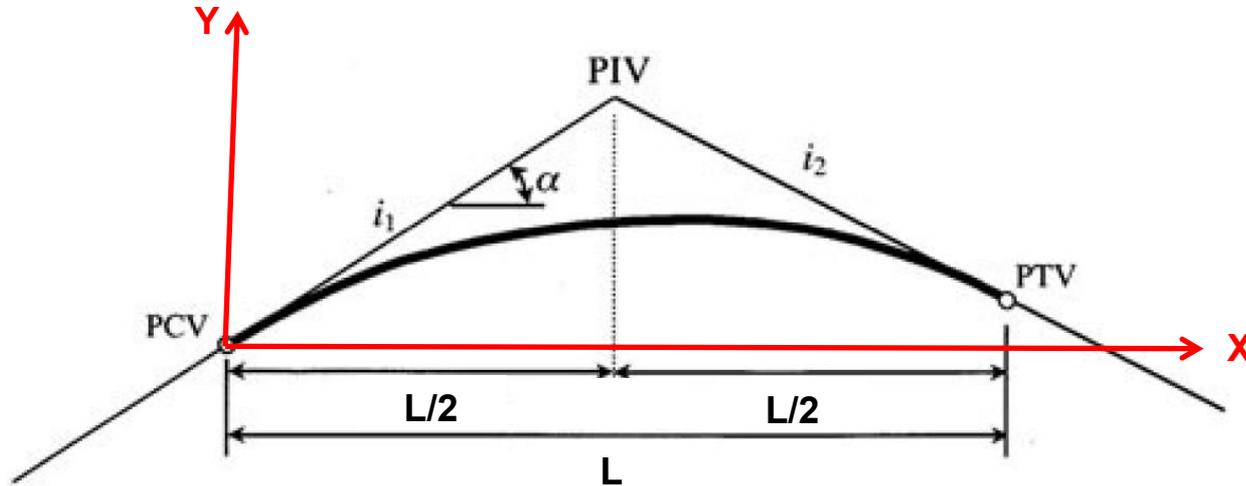
## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

### Rampas Máximas ( $i_{m\acute{a}x}$ ) - Rodovias do DNIT

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3%	4%	5%
Classe I	3%	4,5%	6%
Classe II	3%	5%	7%
Classe III	4%	6%	8%
Classe IV-A	4%	6%	8%
Classe IV-B	6%	8%	10% *

\* A extensão de rampas acima de 8% será desejavelmente limitada a 300m contínuos

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$i_1$  = Rampa ascendentes

$i_2$  = Rampa descendente

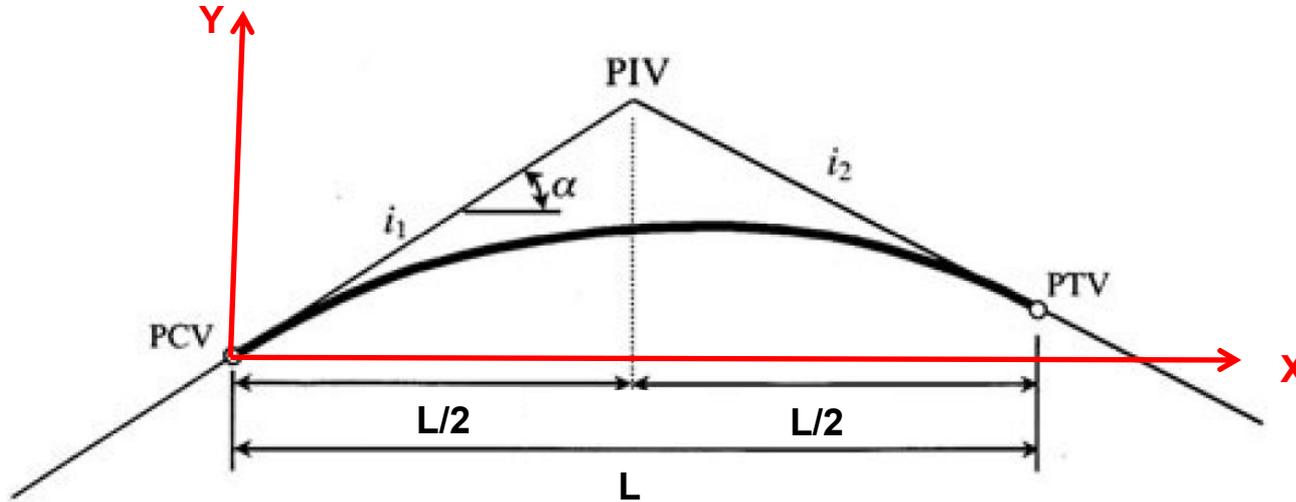
$L$  = Comprimento da curva vertical

**PIV** = Ponto de Inflexão vertical

**PCV** = Ponto de Curvatura vertical

**PTV** = Ponto de Tangência Vertical

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$$g = i_1 - i_2$$

$g > 0$  - A curva vertical parabólica é CONVEXA

$g < 0$  - A curva vertical parabólica é CÔNCAVA.

Podem ser dispensadas curvas verticais quando a diferença algébrica entre rampas contíguas for inferior a **0,5%**.

## Tipos de Projetos Geométricos

1. **Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;**
2. **Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;**
3. **Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;**
4. **Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;**
5. **Projeto de Duplicação**

## Tipos de Projetos Geométricos

- 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;**
2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;
3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;
4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;
5. Projeto de Duplicação

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

- a) Observar a Classificação do projeto = Respeitar as rampas limites Máxima ( $i_{m\acute{a}x}$ ), que varia em função da Classe da rodovia projetada, e Mínima ( $i_{m\acute{i}n} = \pm 0,35\% \Rightarrow$  **DNIT**), e o Coeficiente de Curvatura (K);
- b) Os dados altimétricos são essenciais nesta fase, podendo ser determinados por topografia convencional (método clássico das seções), laser scanner (terrestre ou aéreo), aerofotogrametria ou sistemas orbitais como o Radar (fases preliminares);
- c) Estudar o greide observando o aspecto de equilíbrio entre os volumes de corte e aterro da rodovia a projetar;
- d) **Inserção no perfil longitudinal gerado do terreno natural:**
  - Localização das OAE's e OAC's a projetar, indicando as alturas mínimas de recobrimento dos Bueiros, gabaritos verticais mínimos para cruzamentos com rodovias, ferrovias, canais e linhas de transmissão, indicação com base no estudo hidrológico da altura de máxima enchente (M.E.) para os cursos d'água transversais ao eixo de projeto com OAE's a implantar;
  - Dados geotécnicos: locais de solo mole e susceptível a alagamentos, locais de corte em rocha, possíveis locais com nível d'água subterrânea aflorante, de modo a evitar que a água, em virtude da proximidade do greide, percole para as camadas do pavimento e as danifique;

# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;



## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

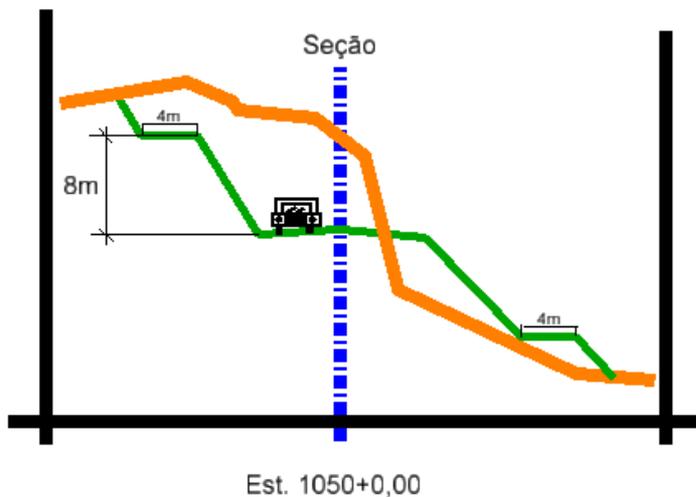
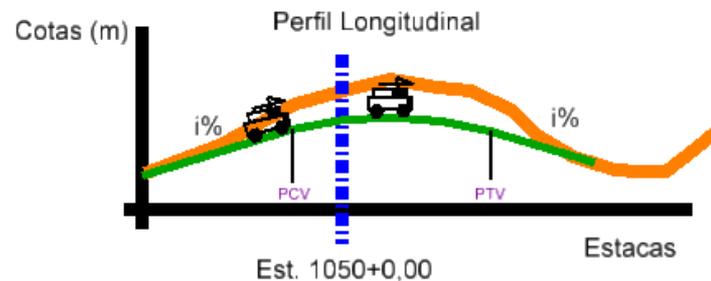
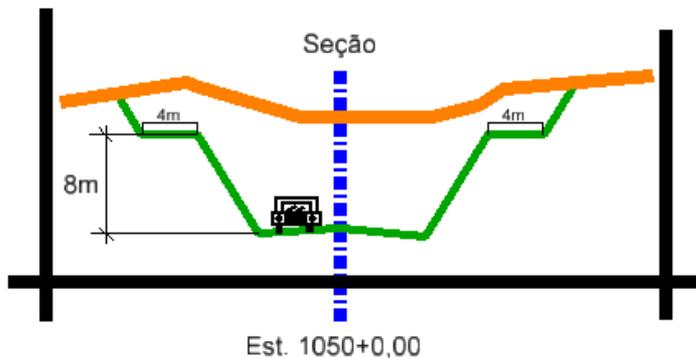
O Quadro 5.5.3.2 apresenta os valores de K arredondados para números inteiros em função das velocidades diretrizes e das distâncias de visibilidade de parada mínima e desejáveis para o caso de  $L \geq D$ .

**Quadro 5.5.3.2 - Valores de K**

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curva verticais convexas										
K – Mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K – Desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K – Mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K – Desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

Quanto menor o valor do "K" menor será o "L"

$$K1 < K2$$

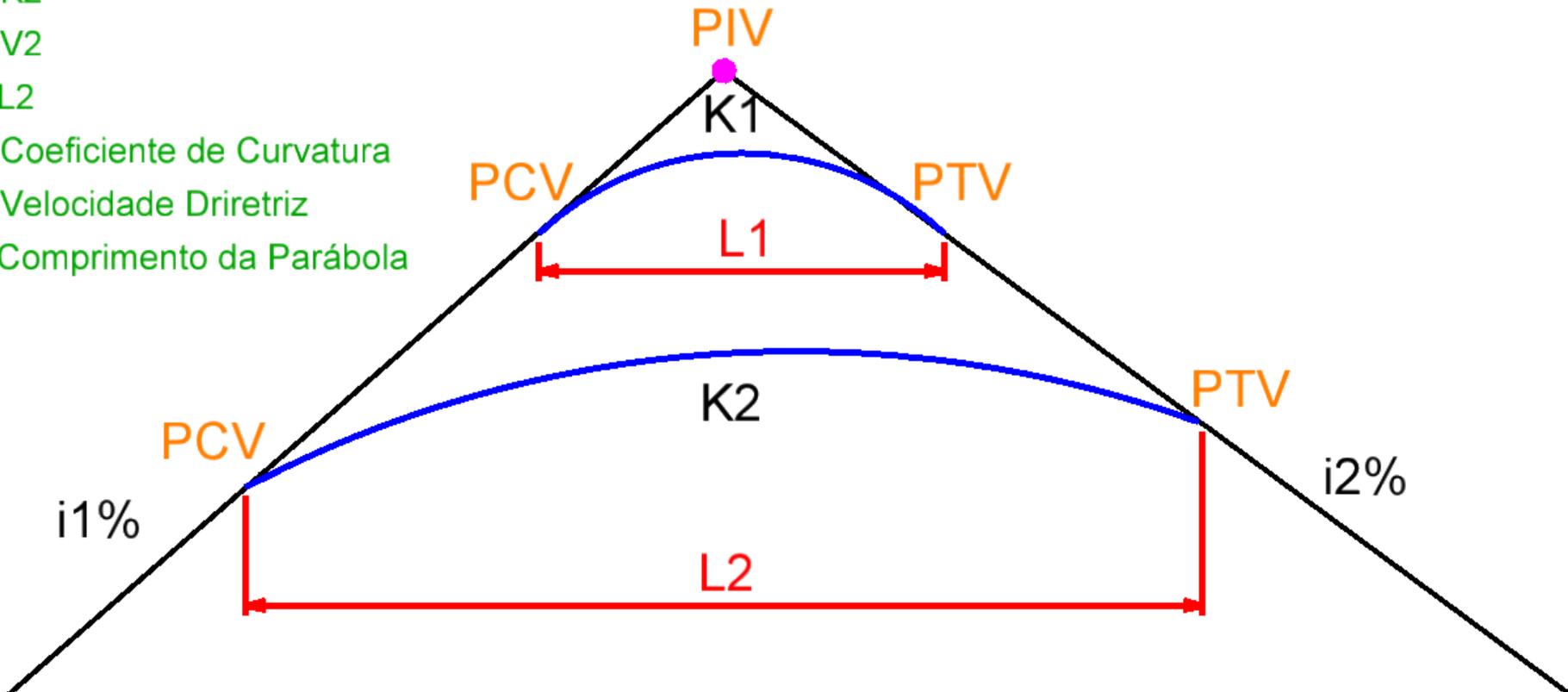
$$V1 < V2$$

$$L1 < L2$$

K = Coeficiente de Curvatura

V = Velocidade Diretriz

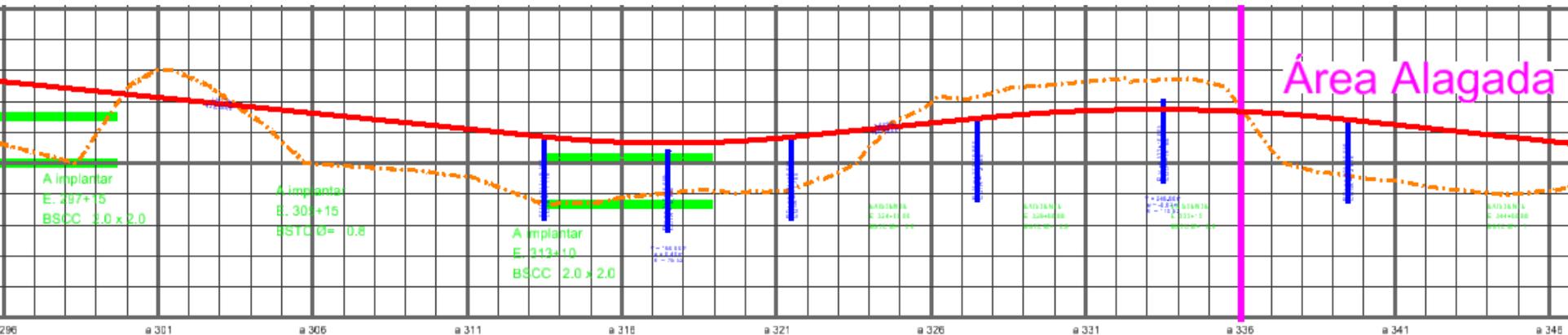
L = Comprimento da Parábola



## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

### d) Inserção no perfil longitudinal gerado do terreno natural:

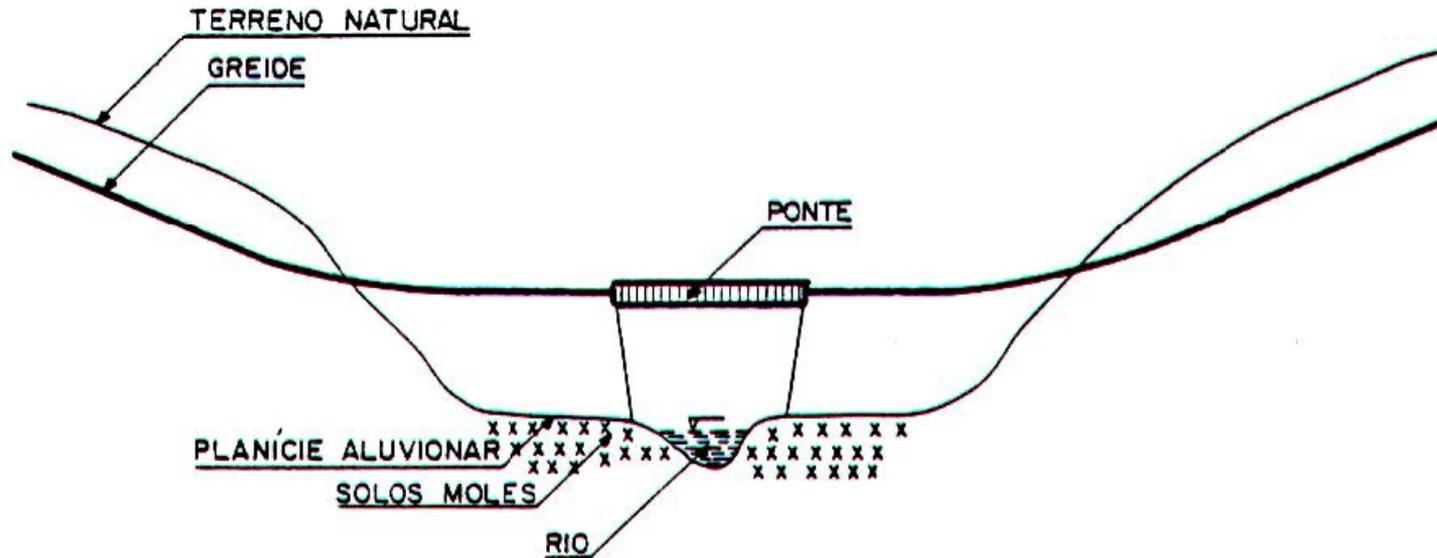
- Localização das OAE's e OAC's a projetar, indicando as alturas mínimas de recobrimento dos Bueiros, gabaritos verticais mínimos para cruzamentos com rodovias, ferrovias, canais e linhas de transmissão, indicação com base no estudo hidrológico da altura de máxima enchente (M.E.) para os cursos d'água transversais ao eixo de projeto com OAE's a implantar;
- Dados geotécnicos: locais de solo mole e susceptível a alagamentos, locais de corte em rocha, possíveis locais com nível d'água subterrânea aflorante, de modo a evitar que a água, em virtude da proximidade do greide, percole para as camadas do pavimento e as danifique;



## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

e) Observar os pontos baixos do terreno com possibilidade de alagamento;

As áreas alagadiças são locais correspondentes a zonas de inundação de cursos d'água, conforme ilustrado no perfil longitudinal abaixo.



## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

Os seguintes aspectos (ilustrados esquematicamente na Figura 5.5.1.1) deverão ser considerados:

- a) O projeto de greide deve evitar freqüentes alterações de menor vulto nos valores das rampas. Estas deverão ser tão contínuas quanto possível. Deverão ser evitadas sempre que possível curvas verticais no mesmo sentido separadas por pequenas extensões de rampa, principalmente em rodovias de pista dupla.
- b) Em trechos longos em rampa, é conveniente dispor as rampas mais íngremes na parte inferior e as rampas mais suaves no topo, para tirar proveito do impulso acumulado no segmento plano ou descendente anterior à subida. Poderá também ser considerada a conveniência de intercalar, no caso de rampas íngremes, trechos com rampas mais suaves, em vez de dispor uma única rampa contínua, em alguns casos de valor apenas um pouco inferior às referidas rampas íngremes.
- c) Greides excessivamente colados, muitas vezes associados a traçados sensivelmente retos, são indesejáveis por motivos estéticos e por proporcionarem situações perigosas em terrenos levemente ondulados: a sucessão de pequenas lombadas e depressões oculta veículos nos pontos baixos, dando uma falsa impressão de oportunidade de ultrapassagem.

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

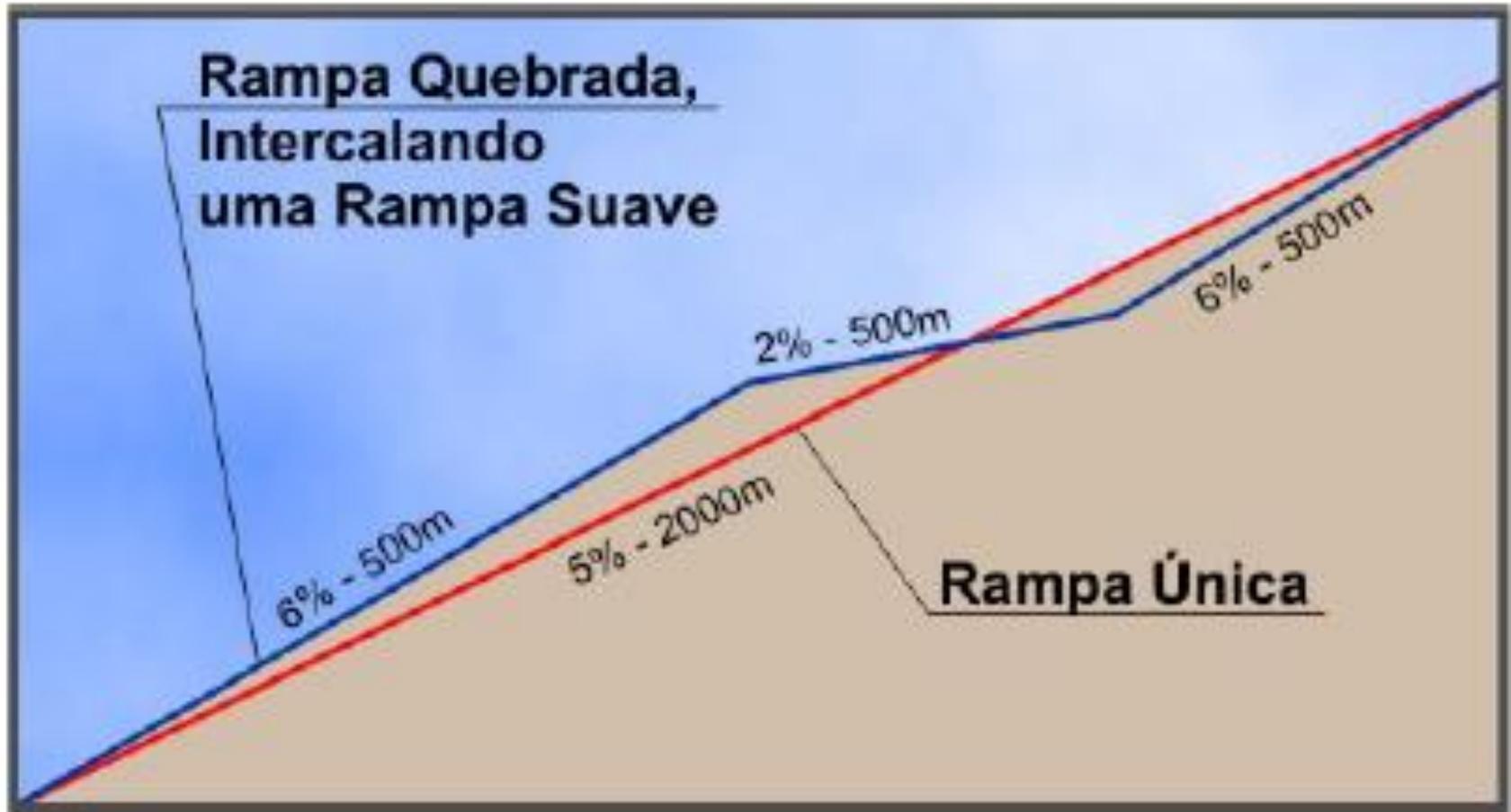


## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

Os seguintes aspectos (ilustrados esquematicamente na Figura 5.5.1.1) deverão ser considerados:

- a) O projeto de greide deve evitar freqüentes alterações de menor vulto nos valores das rampas. Estas deverão ser tão contínuas quanto possível. Deverão ser evitadas sempre que possível curvas verticais no mesmo sentido separadas por pequenas extensões de rampa, principalmente em rodovias de pista dupla.
- b) Em trechos longos em rampa, é conveniente dispor as rampas mais íngremes na parte inferior e as rampas mais suaves no topo, para tirar proveito do impulso acumulado no segmento plano ou descendente anterior à subida. Poderá também ser considerada a conveniência de intercalar, no caso de rampas íngremes, trechos com rampas mais suaves, em vez de dispor uma única rampa contínua, em alguns casos de valor apenas um pouco inferior às referidas rampas íngremes.
- c) Greides excessivamente colados, muitas vezes associados a traçados sensivelmente retos, são indesejáveis por motivos estéticos e por proporcionarem situações perigosas em terrenos levemente ondulados: a sucessão de pequenas lombadas e depressões oculta veículos nos pontos baixos, dando uma falsa impressão de oportunidade de ultrapassagem.

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;



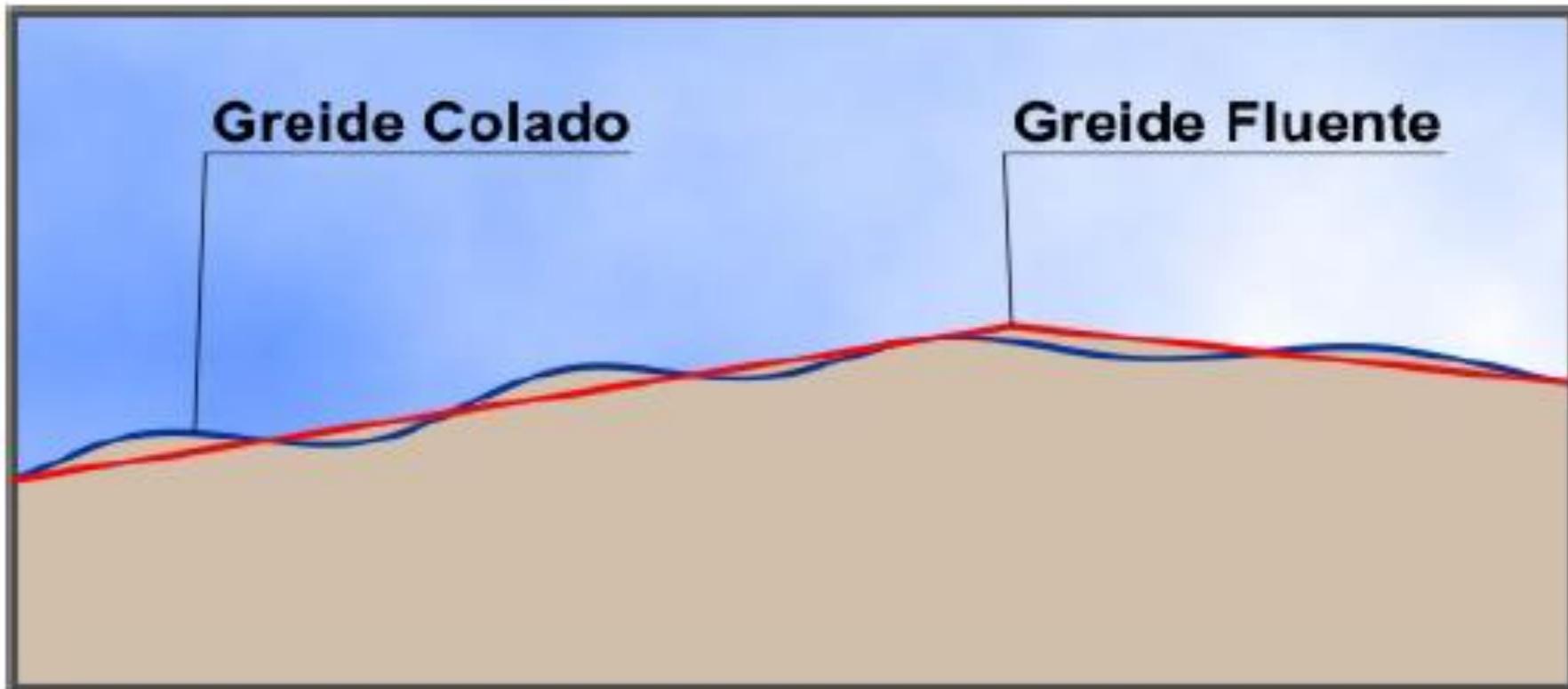
## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;

Os seguintes aspectos (ilustrados esquematicamente na Figura 5.5.1.1) deverão ser considerados:

- a) O projeto de greide deve evitar freqüentes alterações de menor vulto nos valores das rampas. Estas deverão ser tão contínuas quanto possível. Deverão ser evitadas sempre que possível curvas verticais no mesmo sentido separadas por pequenas extensões de rampa, principalmente em rodovias de pista dupla.
- b) Em trechos longos em rampa, é conveniente dispor as rampas mais íngremes na parte inferior e as rampas mais suaves no topo, para tirar proveito do impulso acumulado no segmento plano ou descendente anterior à subida. Poderá também ser considerada a conveniência de intercalar, no caso de rampas íngremes, trechos com rampas mais suaves, em vez de dispor uma única rampa contínua, em alguns casos de valor apenas um pouco inferior às referidas rampas íngremes.
- c) Greides excessivamente colados, muitas vezes associados a traçados sensivelmente retos, são indesejáveis por motivos estéticos e por proporcionarem situações perigosas em terrenos levemente ondulados: a sucessão de pequenas lombadas e depressões oculta veículos nos pontos baixos, dando uma falsa impressão de oportunidade de ultrapassagem.

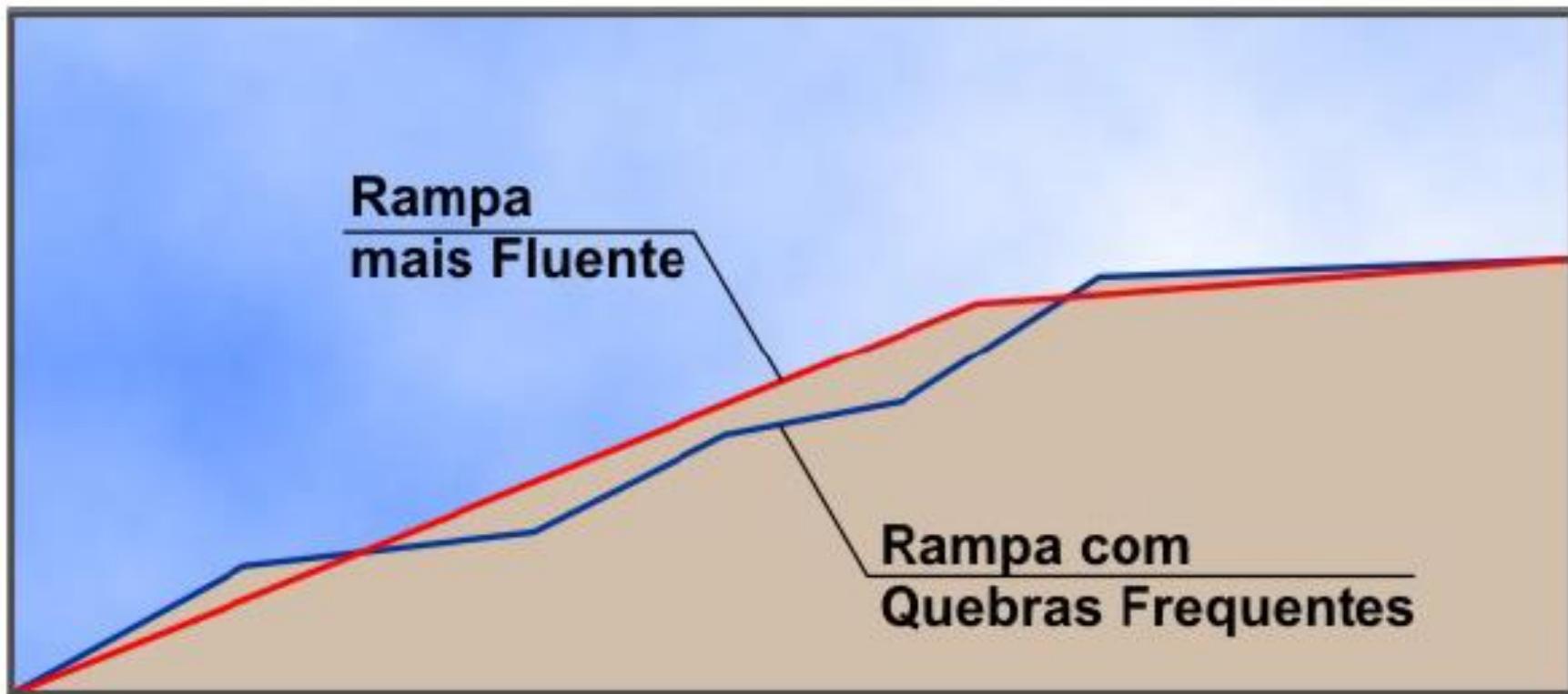
# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;



## Tipos de Projetos Geométricos

1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;
2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;
3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;
4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;
5. Projeto de Duplicação

## 2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

- a) Observar a Classificação do projeto = Respeitar as rampas limites Máxima ( $i_{m\acute{a}x}$ ), que varia em função da Classe da rodovia projetada, e Mínima ( $i_{m\acute{i}n} = \pm 0,35\%$ ), e o Coeficiente de Curvatura (K);

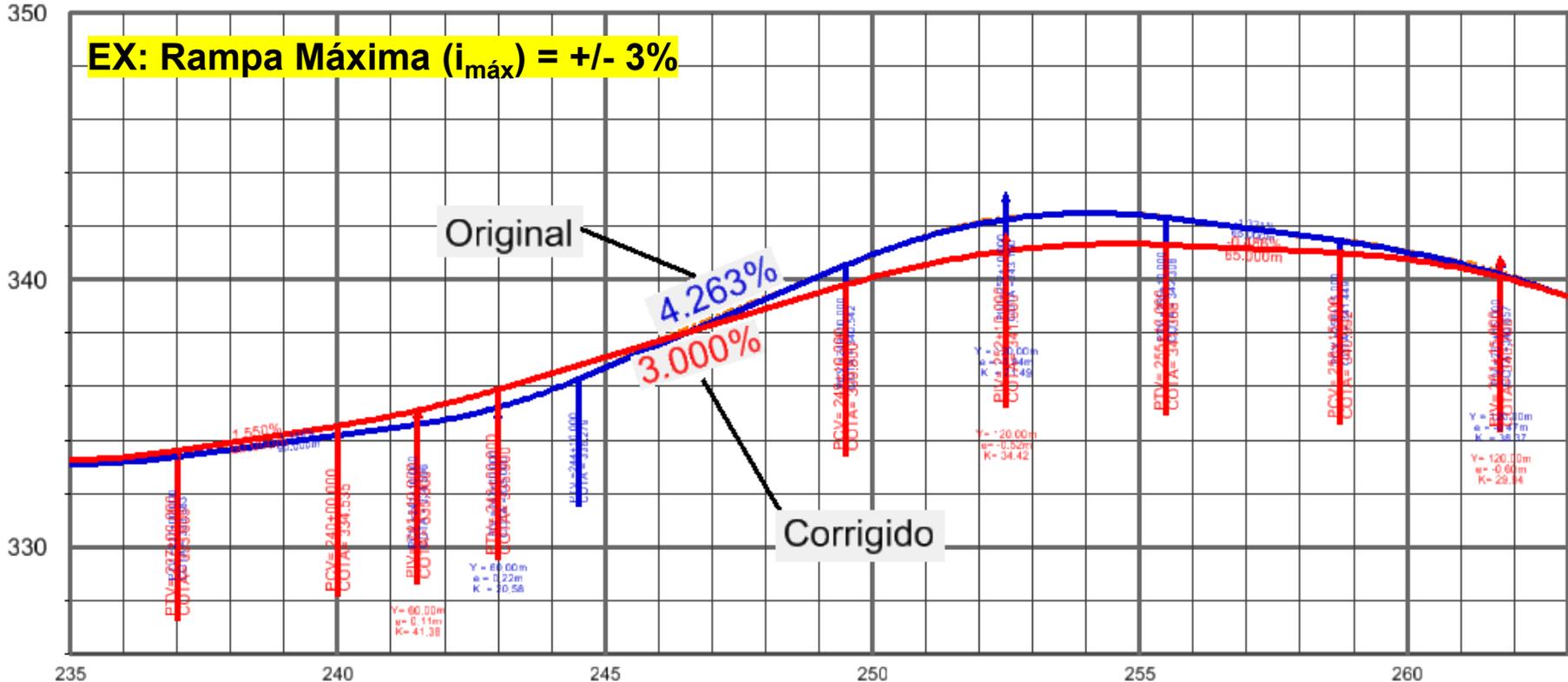
### Rampas Máximas ( $i_{m\acute{a}x}$ ) - Rodovias do DNIT

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3%	4%	5%
Classe I	3%	4,5%	6%
Classe II	3%	5%	7%
Classe III	4%	6%	8%
Classe IV-A	4%	6%	8%
Classe IV-B	6%	8%	10% *

\* A extensão de rampas acima de 8% será desejavelmente limitada a 300m contínuos

## 2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

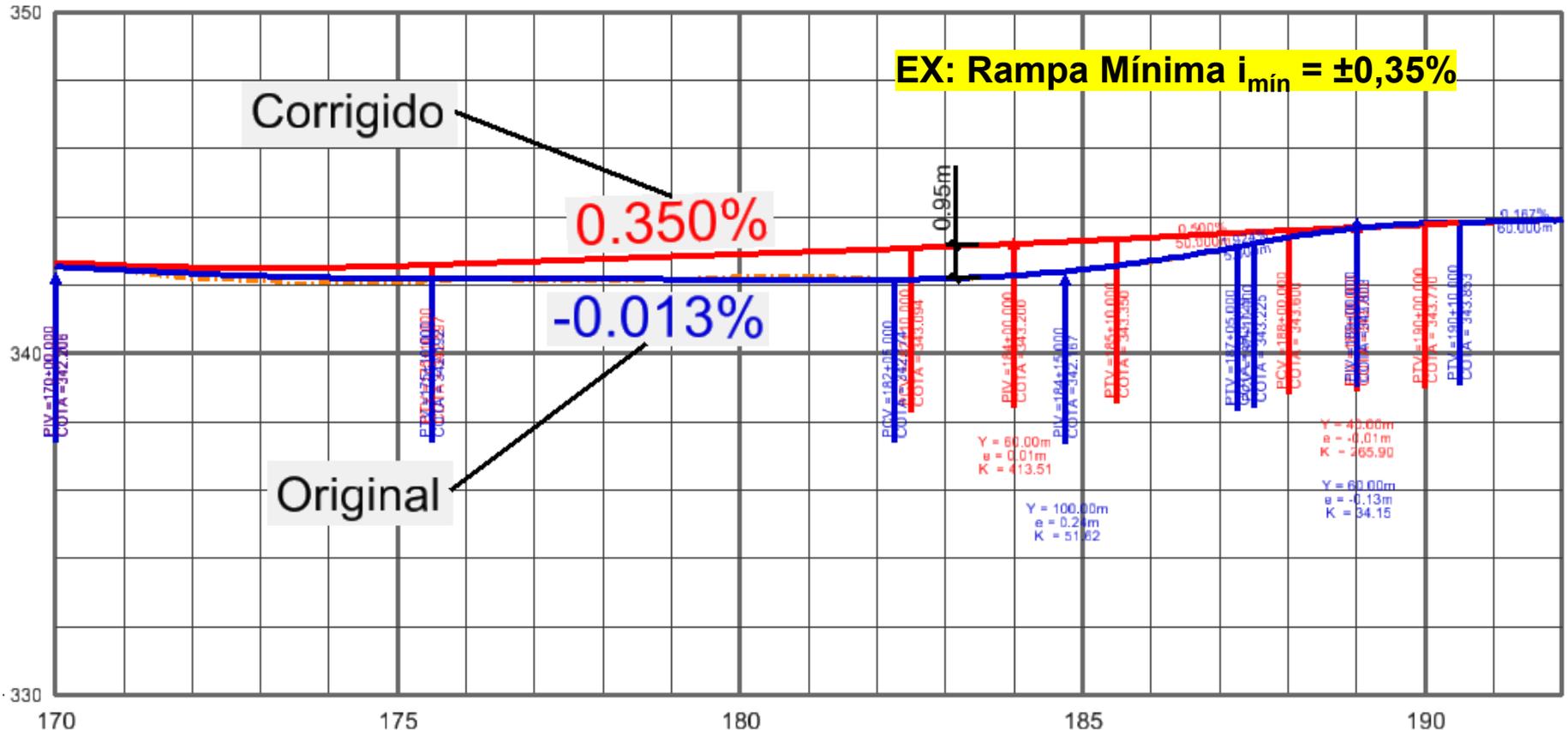
### Ajuste da Rampa Máxima ( $i_{m\acute{a}x}$ )



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

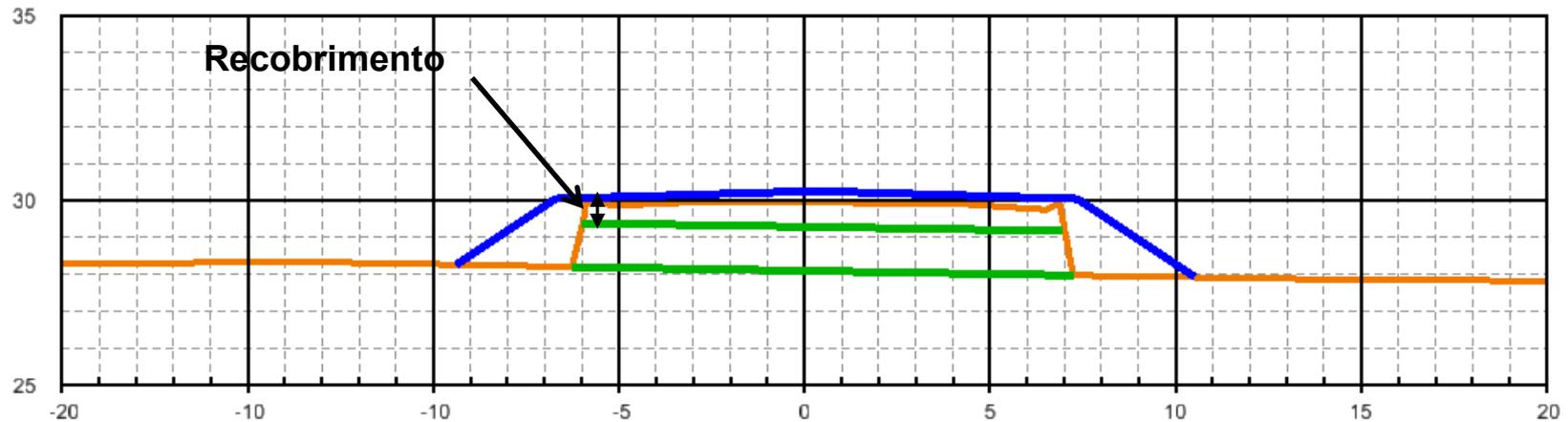
2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

Ajuste da Rampa Mínima  $i_{\min} = \pm 0,35\%$  - DNIT



## 2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

- b) Elaboração de um greide preliminar “colado” (coincidente com a via existente);
- c) Verificar junto aos projetistas de Estrutura e de Hidrologia a necessidade de elevação de greide nos pontos de cruzamento de OAE's e OAC's; nas OAE's, devido ao não atendimento da distância mínima da Viga da Ponte à cota de máxima enchente, e nas OAC's, por falta de atendimento ao recobrimento mínimo ou por conta de alterações nas dimensões do bueiro;

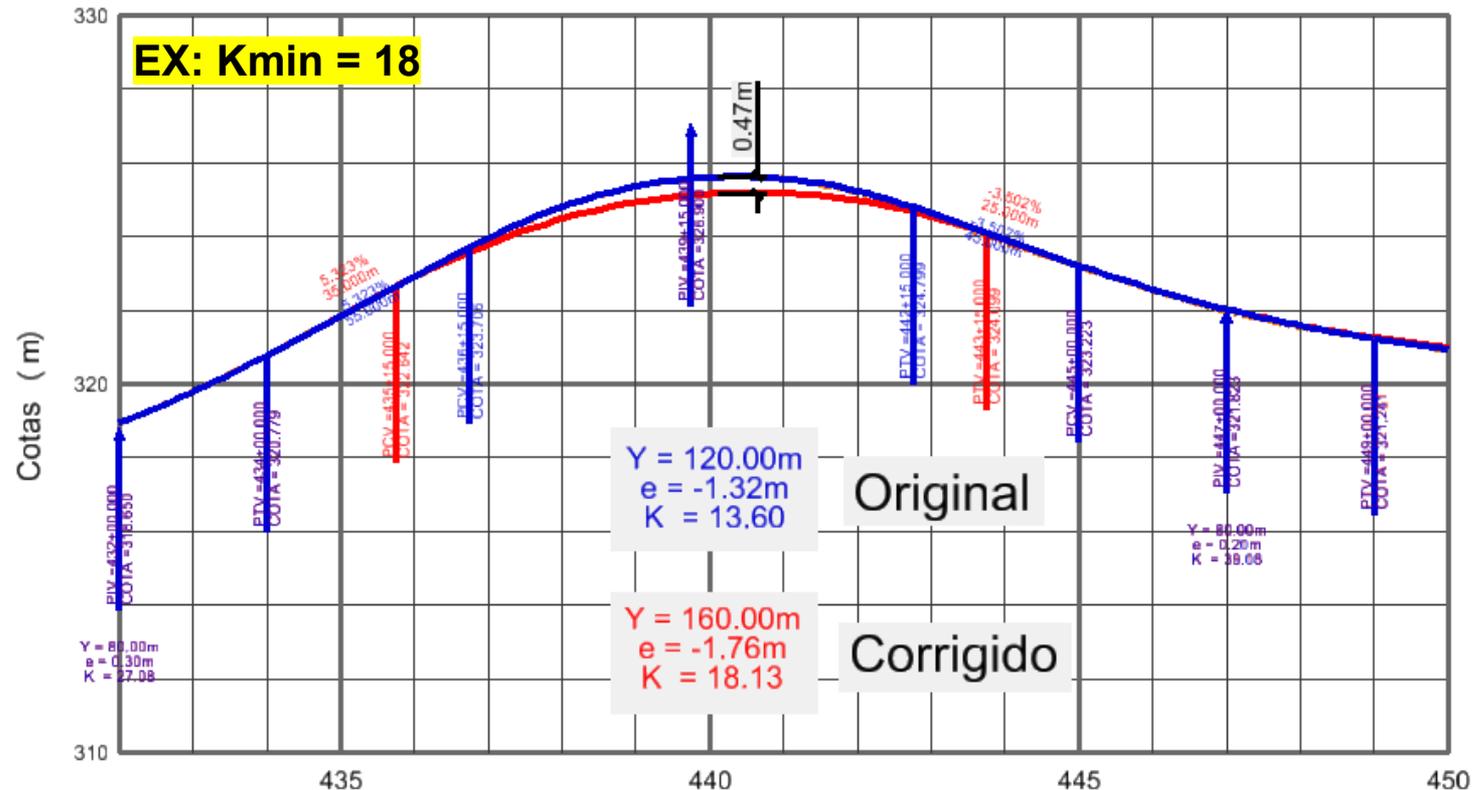


1100+11.90

## 2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

- d) Verificar a compatibilidade dos coeficientes de curvatura (K) da via existente aos da Classe a ser enquadrada, verificando a necessidade de cortar ou aterrar a via existente;

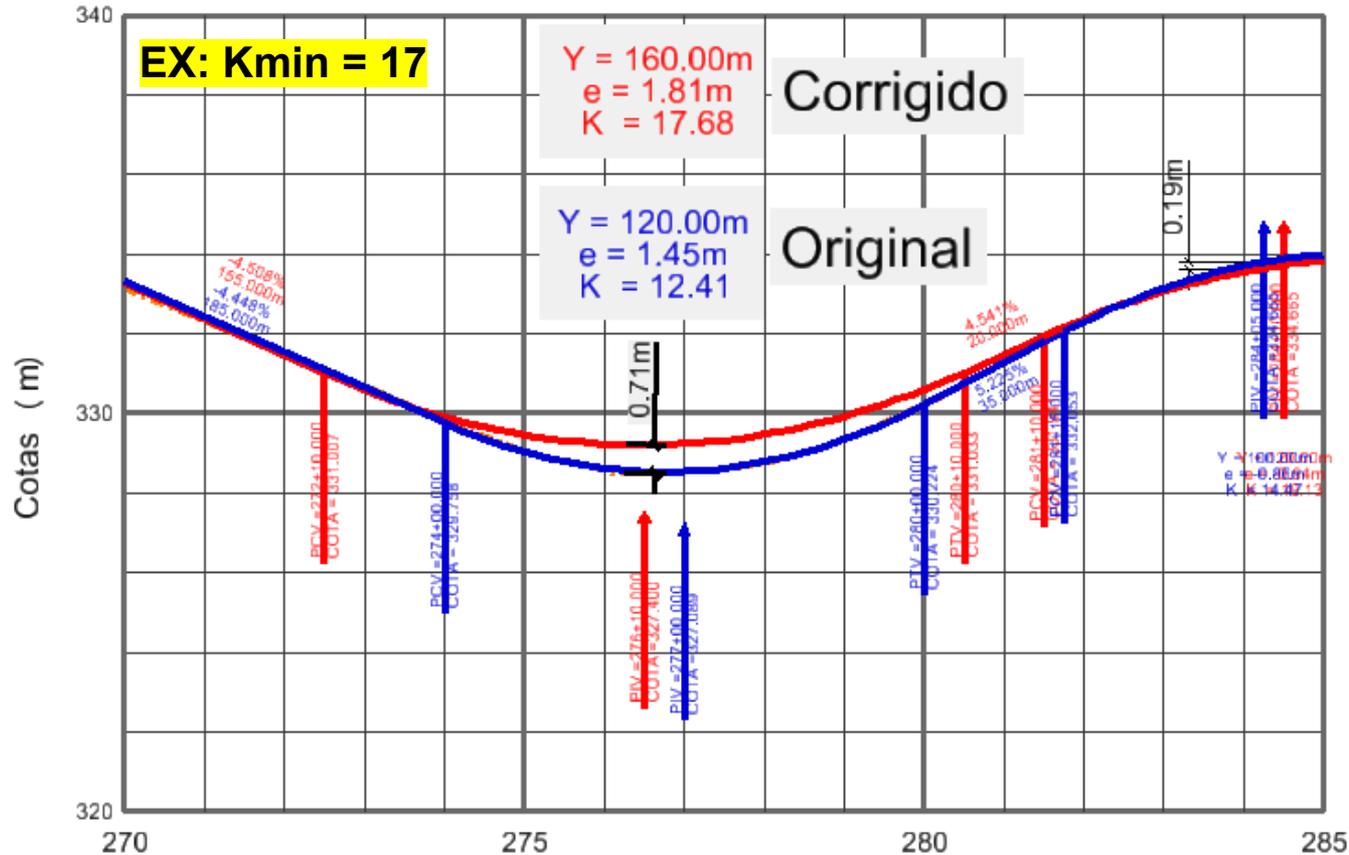
### Curva Convexa



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

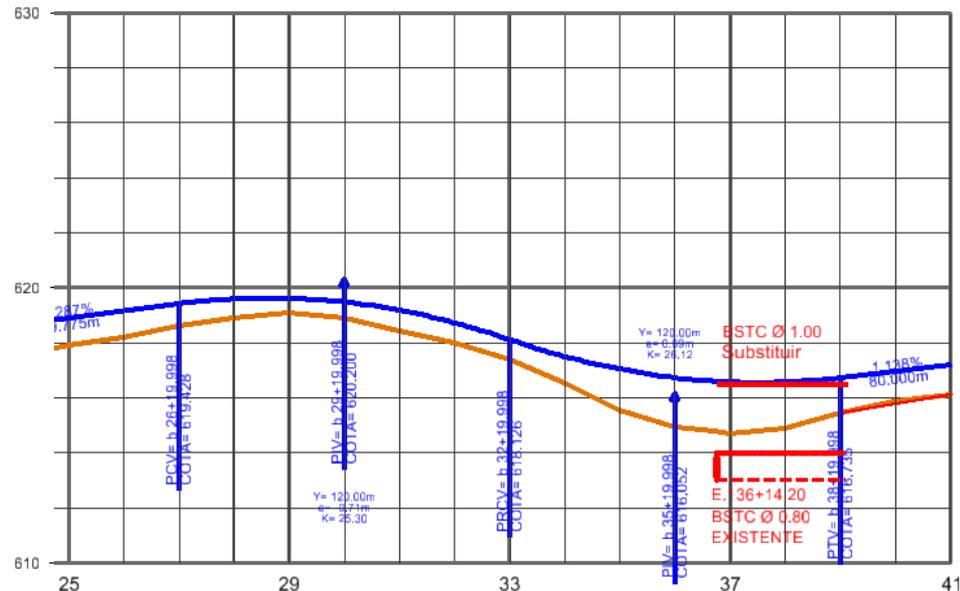
### Curva Côncava



## 2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;

- e) Quando do Cruzamento de áreas com habitações lindeiras, considerar as cotas das soleiras das edificações. Deve-se atentar às cotas das soleiras das edificações que encontram-se às margens da via existente para evitar que as casas fiquem muito abaixo do nível do pavimento, gerando problemas de drenagem e dificultando o acesso; quando muito acima do nível do pavimento, o acesso às casas pode também ser dificultado;
- f) Analisar os recobrimentos para as hipóteses de OAC's **Existentes**, como também os tipos de bueiros (Bueiro Tubular - Recobrimento de 1,5 x o diâmetro do Bueiro e Bueiro Celular - Recobrimento pode ser até nulo).

### Bueiros Existente



## Tipos de Projetos Geométricos

1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;
2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;
- 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;**
4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;
5. Projeto de Duplicação

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

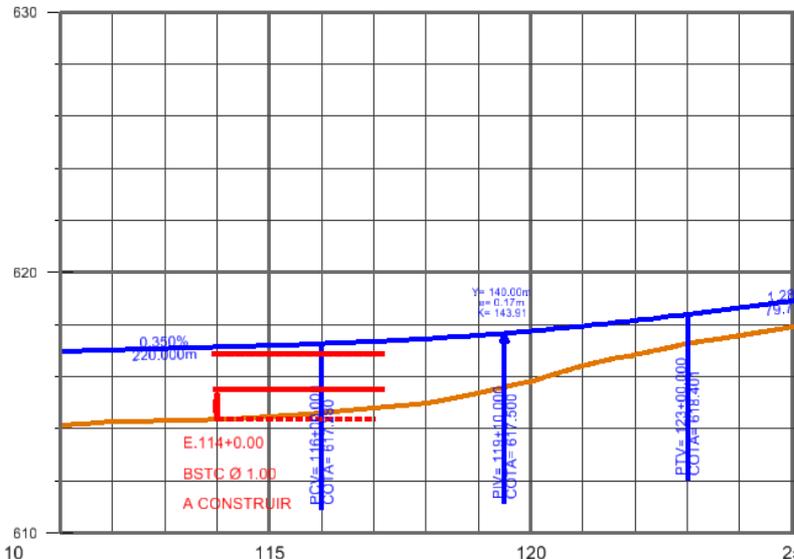
- a) Observar a Classificação do projeto = Respeitar as rampas limites Máxima ( $i_{máx}$ ), que varia em função da Classe da rodovia projetada, e Mínima ( $i_{mín} = \pm 0,35\%$ ), e o Coeficiente de Curvatura (K);
- b) Os dados altimétricos são essenciais nesta fase, podendo ser determinados por topografia convencional (método clássico das seções), laser scanner (terrestre ou aéreo), aerofotogrametria ou sistemas orbitais como o Radar (fases preliminares);
- c) Inserção no perfil longitudinal gerado do terreno natural:
  - Localização das OAE's e OAC's a projetar, indicando as alturas mínimas de recobrimento dos Bueiros, gabaritos verticais mínimos para cruzamentos com rodovias, ferrovias, canais e linhas de transmissão, indicação com base no estudo hidrológico da altura de máxima enchente (M.E.) para os cursos d'água transversais ao eixo de projeto com OAE's a implantar;
  - Dados geotécnicos: locais de solo mole e susceptível a alagamentos, locais de corte em rocha, possíveis locais com nível d'água subterrânea aflorante, de modo a evitar que a água, em virtude da proximidade do greide, percole para as camadas do pavimento e as danifique;
- d) Estudar o greide observando o aspecto de equilíbrio entre os volumes de corte e aterro da rodovia a projetar;
- e) Respeitar o Recobrimento mínimo nos Bueiros e o greide para implantação de OAC.

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

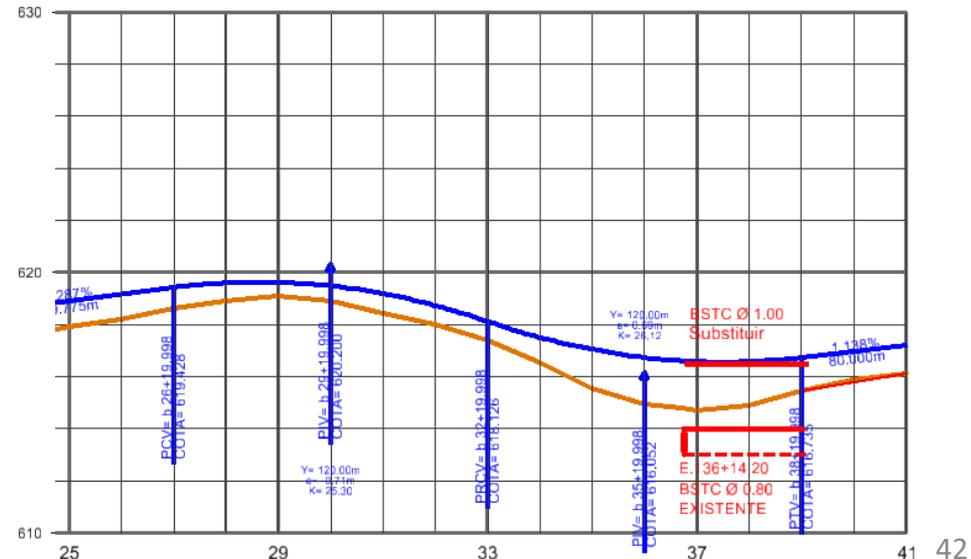
### Respeitar o recobrimento dos Bueiros Existentes e A Implantar

Analisar os recobrimentos para as hipóteses de OAC's Existentes e a Implantar, como também os tipos de bueiros (Bueiro Tubular - Recobrimento 1,5 x o diâmetro do Bueiro e Bueiro Celular - Recobrimento pode ser até nulo).

### Bueiros A Implantar



### Bueiros Existente



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

f) Verificar pontos baixos do traçado que sejam susceptíveis a alagamentos;



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

- 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;**  
**Locais mais baixos do traçado e susceptíveis a alagamentos.**



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

**3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;**

**Locais mais baixos do traçado e susceptíveis a alagamentos.**



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

Locais mais baixos do traçado e susceptíveis a alagamentos.



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

**3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;**

**Locais mais baixos do traçado e susceptíveis a alagamentos.**



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

Erosão da pista existente provocada pela água, indicando ponto susceptível a alagamento



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

Erosão da pista existente provocada pela água, indicando ponto susceptível a alagamento



## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

Erosão da pista existente provocada pela água, indicando ponto susceptível a alagamento



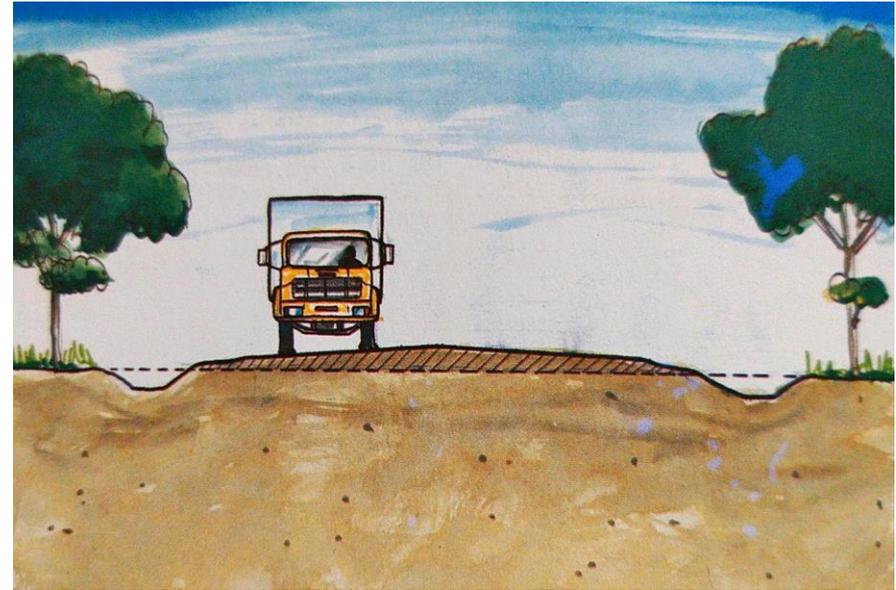
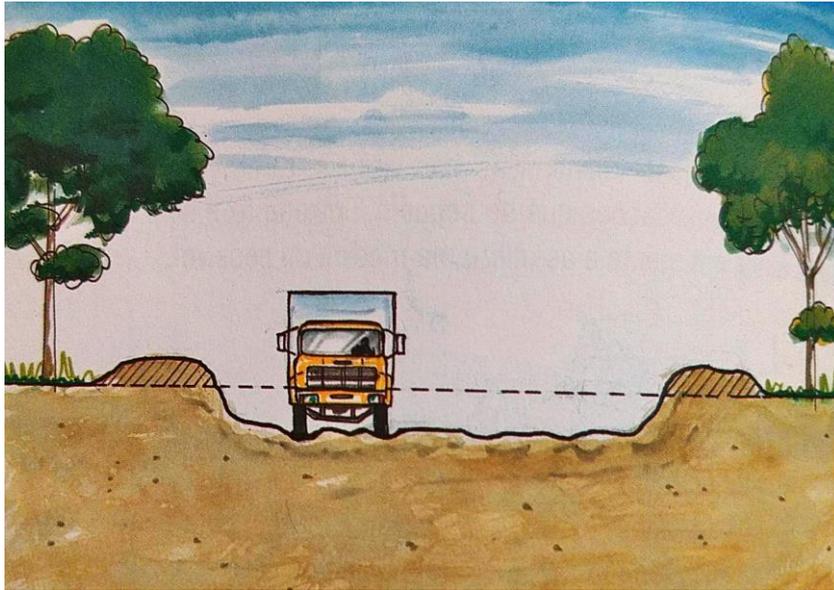
## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

Erosão da pista existente provocada pela água, indicando ponto susceptível a alagamento



## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

- g) Observar as seções do terreno natural para não cortar um corte já existente ou deixar o greide muito baixo em um local de falso corte, gerado pelos serviços de **conserva** da via não pavimentada, geralmente realizada por prefeituras locais ou pelo próprio DNIT ou DER local.



## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

- g) Observar as seções do terreno natural para não cortar um corte já existente ou deixar o greide muito baixo em um local de falso corte, gerado pelos serviços de **conserva** da via não pavimentada, geralmente realizada por prefeituras locais ou pelo próprio DNIT ou DER local.



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;



# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;



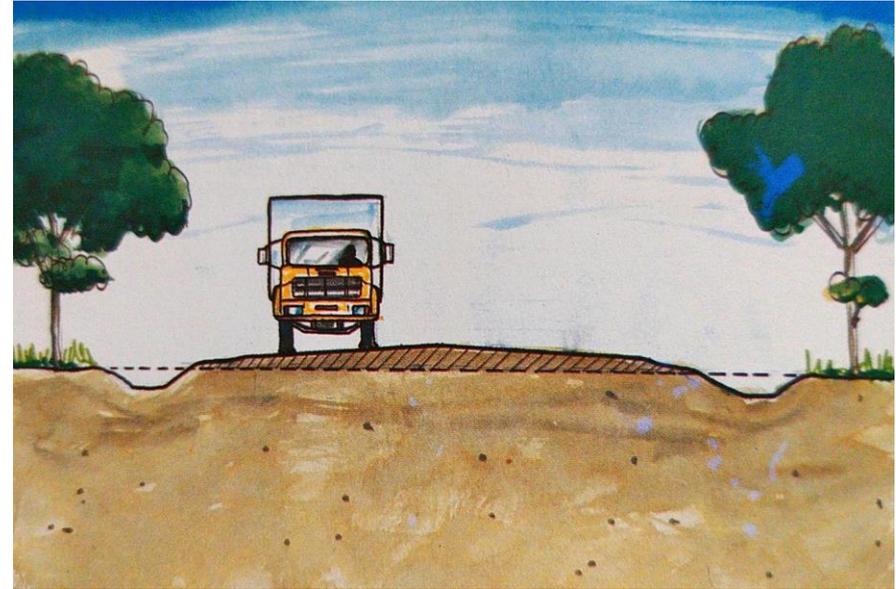
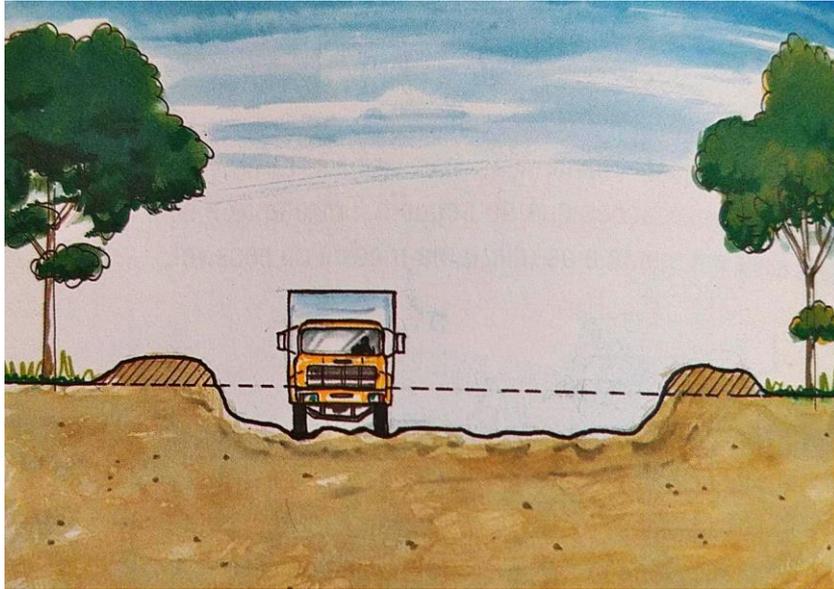
# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;



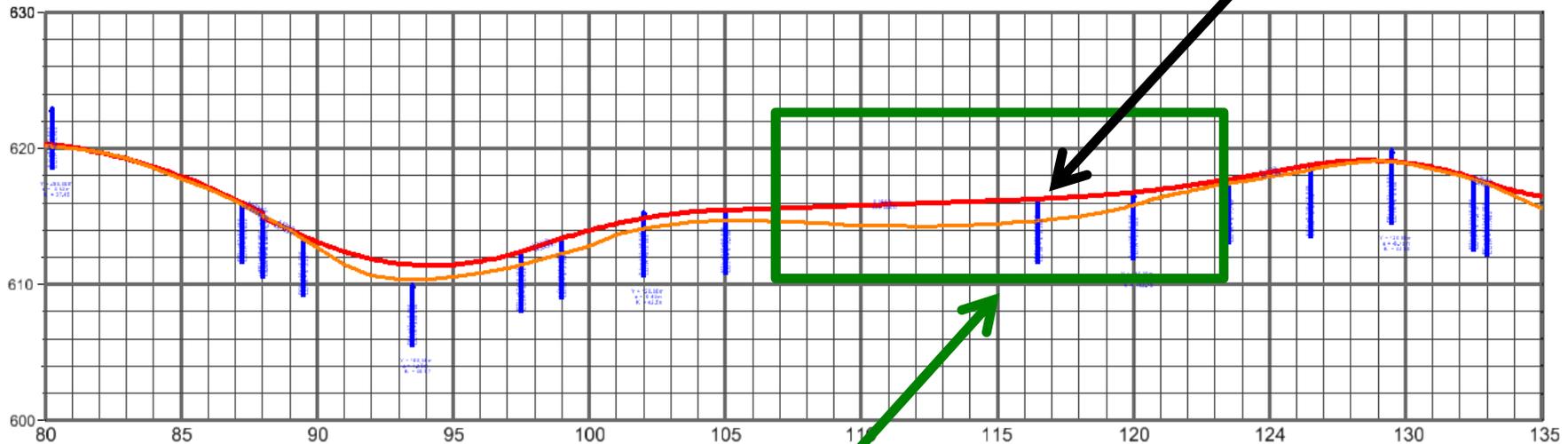
## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

- g) Observar as seções do terreno natural para não cortar um corte já existente ou deixar o greide muito baixo em um local de falso corte, gerado pelos serviços de **conserva** da via não pavimentada, geralmente realizada por prefeituras locais ou pelo próprio DNIT ou DER local.



## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;

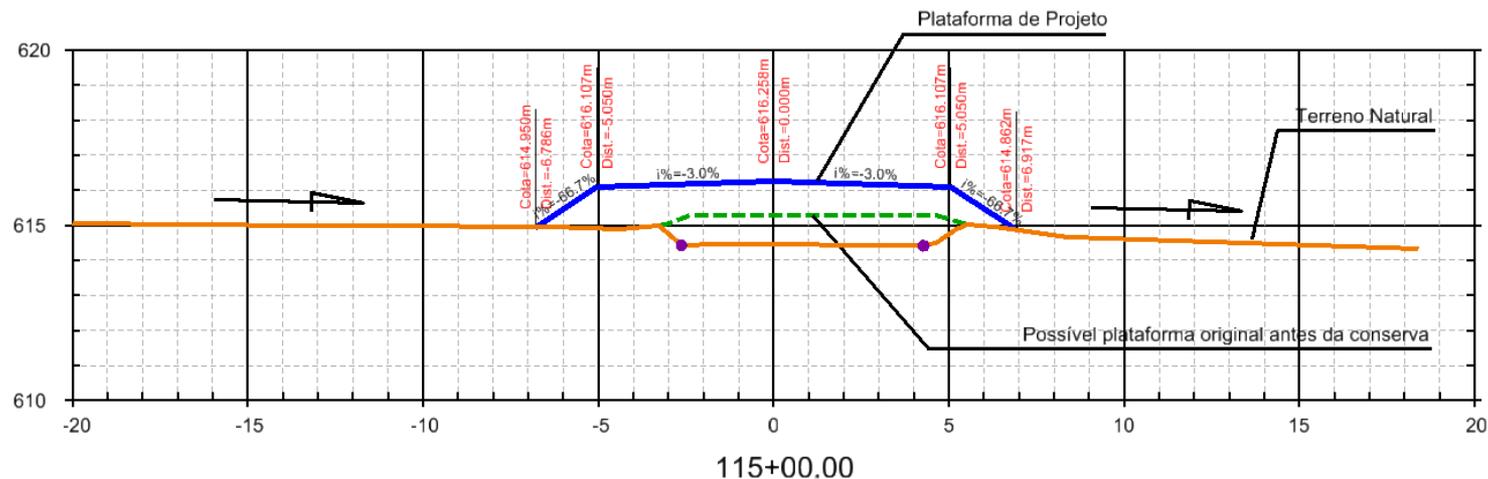
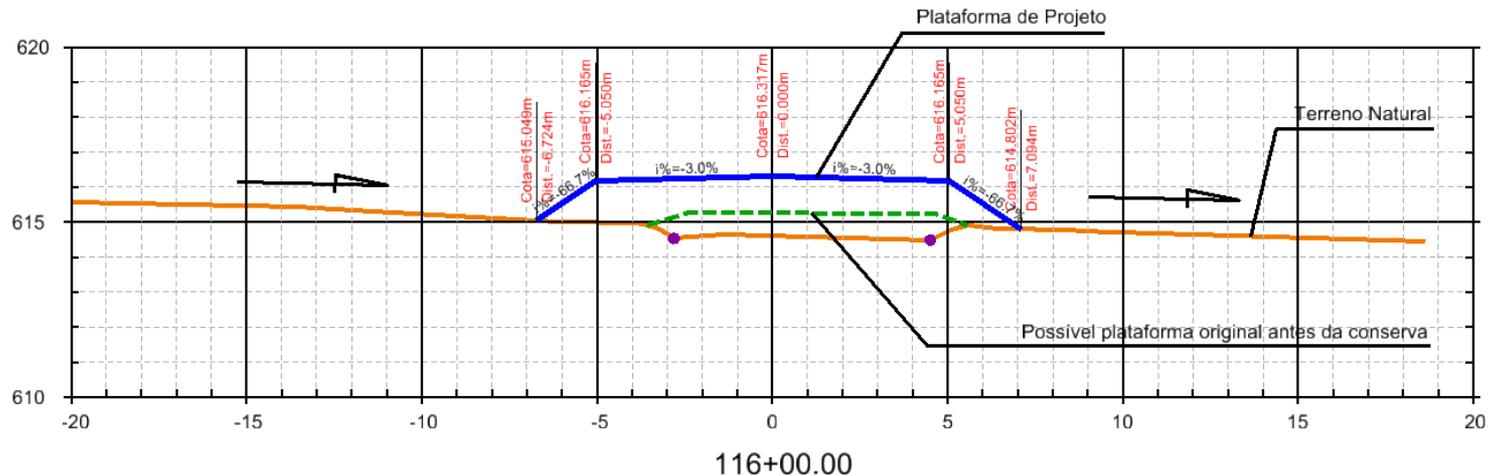
### PERFIL LONGITUDINAL



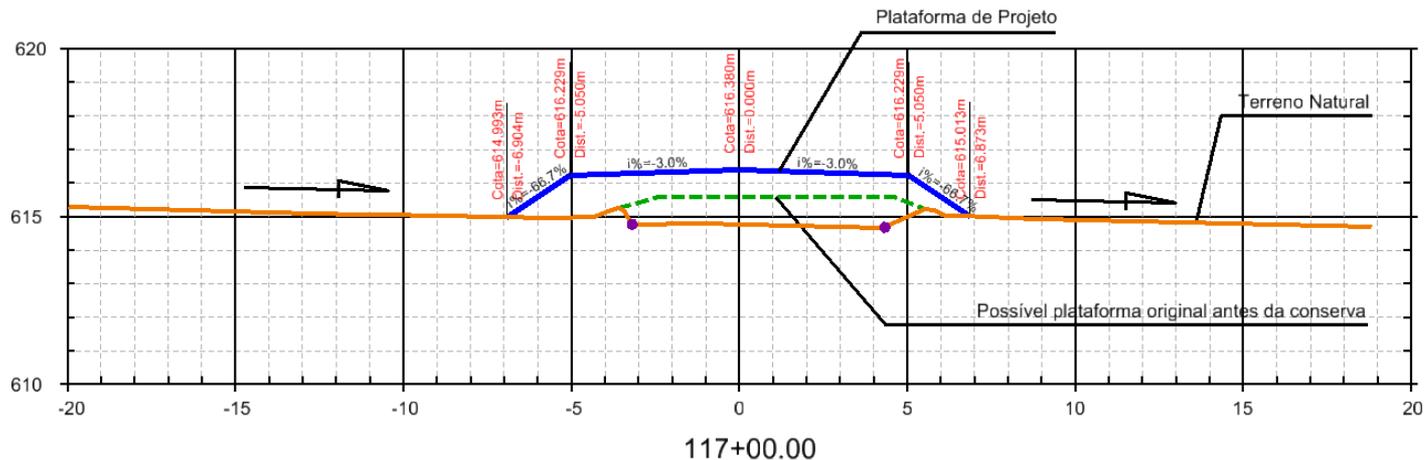
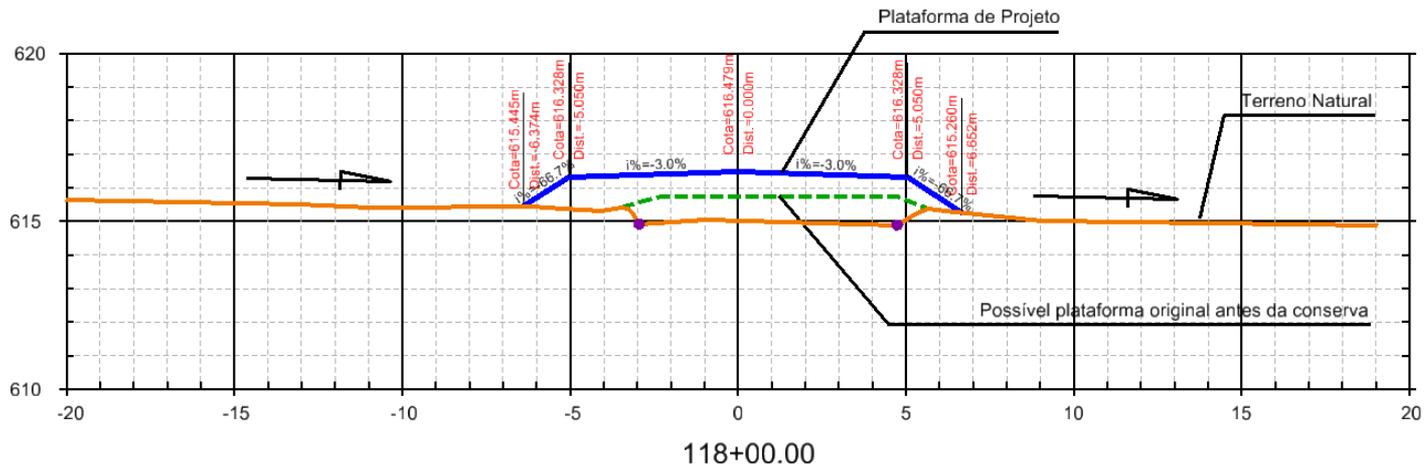
Poderá gerar alagamentos

Ponto baixo, onde a umidade pode contaminar o pavimento e gerar “borrachudo”  
(Saturação das camadas do pavimento)

## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;



## 3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;



## Tipos de Projetos Geométricos

1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;
2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;
3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;
4. **Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;**
5. Projeto de Duplicação

## 4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;

### 6.1.3 Distâncias de visibilidade

Difícilmente será possível melhorar a visibilidade nas curvas verticais, sob pena de perda do pavimento, fugindo ao conceito de reabilitação. Ainda assim, deverão ser examinadas “in loco” as condições de visibilidade em todas as curvas verticais. Igualmente, com base no levantamento topográfico, serão verificados os parâmetros K e comparados com o valores requeridos, procurando confirmar as observações feitas e detectar situações em que quebras isoladas de padrão possam se tornar pontos perigosos e justifiquem melhorias isoladas na geometria.

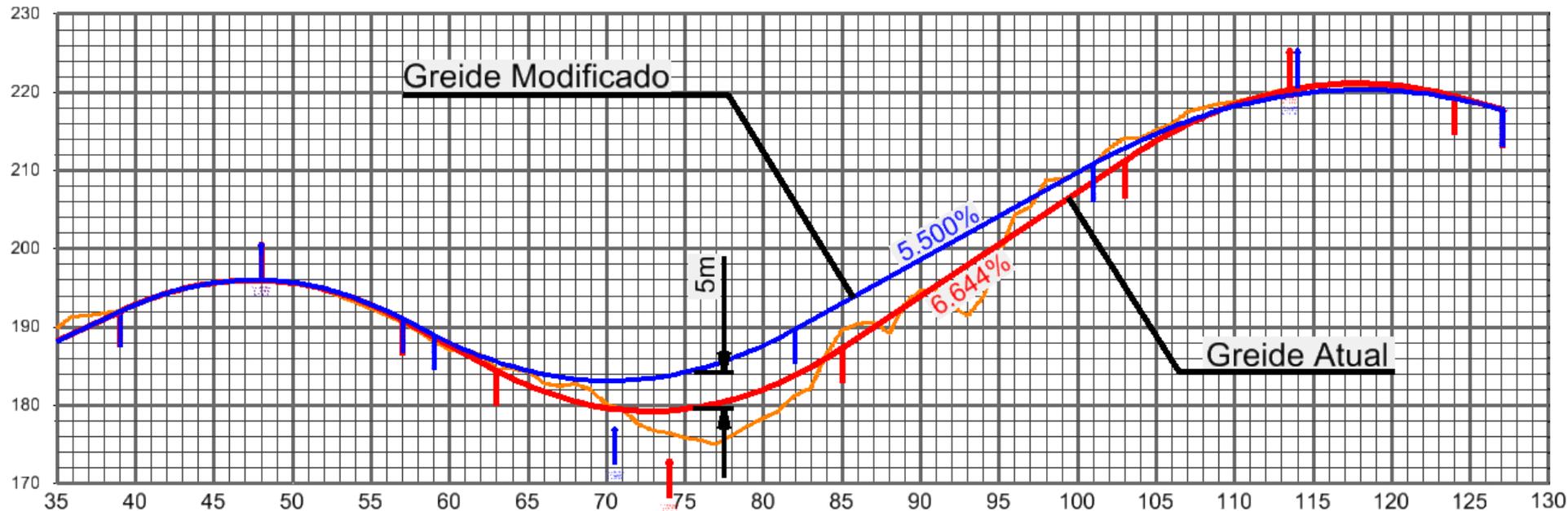
## 4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;

Serão realizadas intervenções na rodovia para melhoramento das condições operacionais e de segurança da mesma, sendo as principais questões observadas:

- a) As rampas limite Máxima ( $i_{m\acute{a}x}$ ), que varia em função da Classe da rodovia projetada, e Mínima ( $i_{m\acute{i}n} = \pm 0,35\%$ ), e o Coeficiente de Curvatura (K) não estarem em conformidade com a Classe do projeto, devido a falhas de concepção;
- b) Suavização de rampas, para dar mais fluidez ao tráfego;
- c) Situação de risco eminente, pela combinação de curva acentuada com rampa descendente.

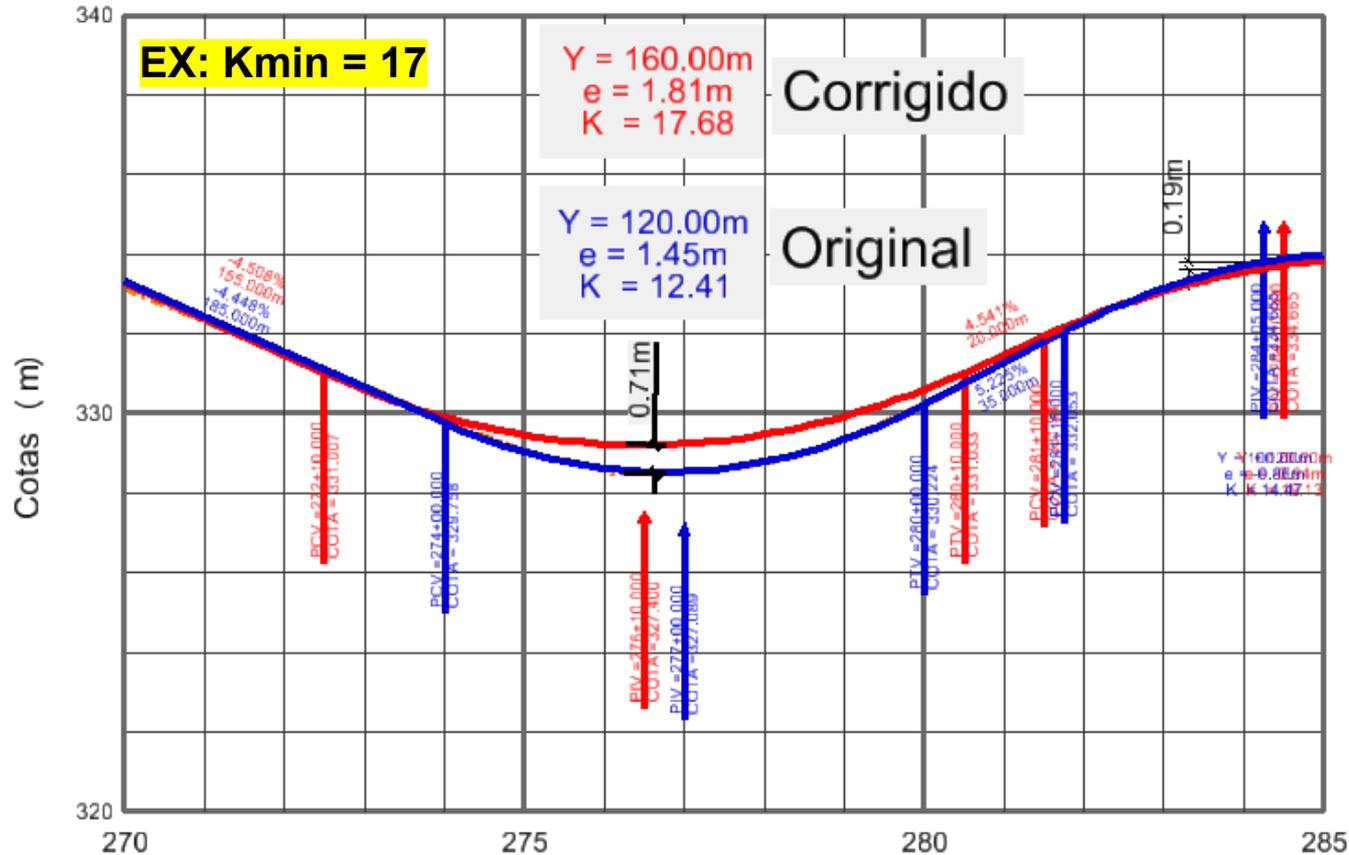
## 4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;

Suavização da rampa de +6,64% para +5,50% e aumento dos comprimentos das curvas verticais



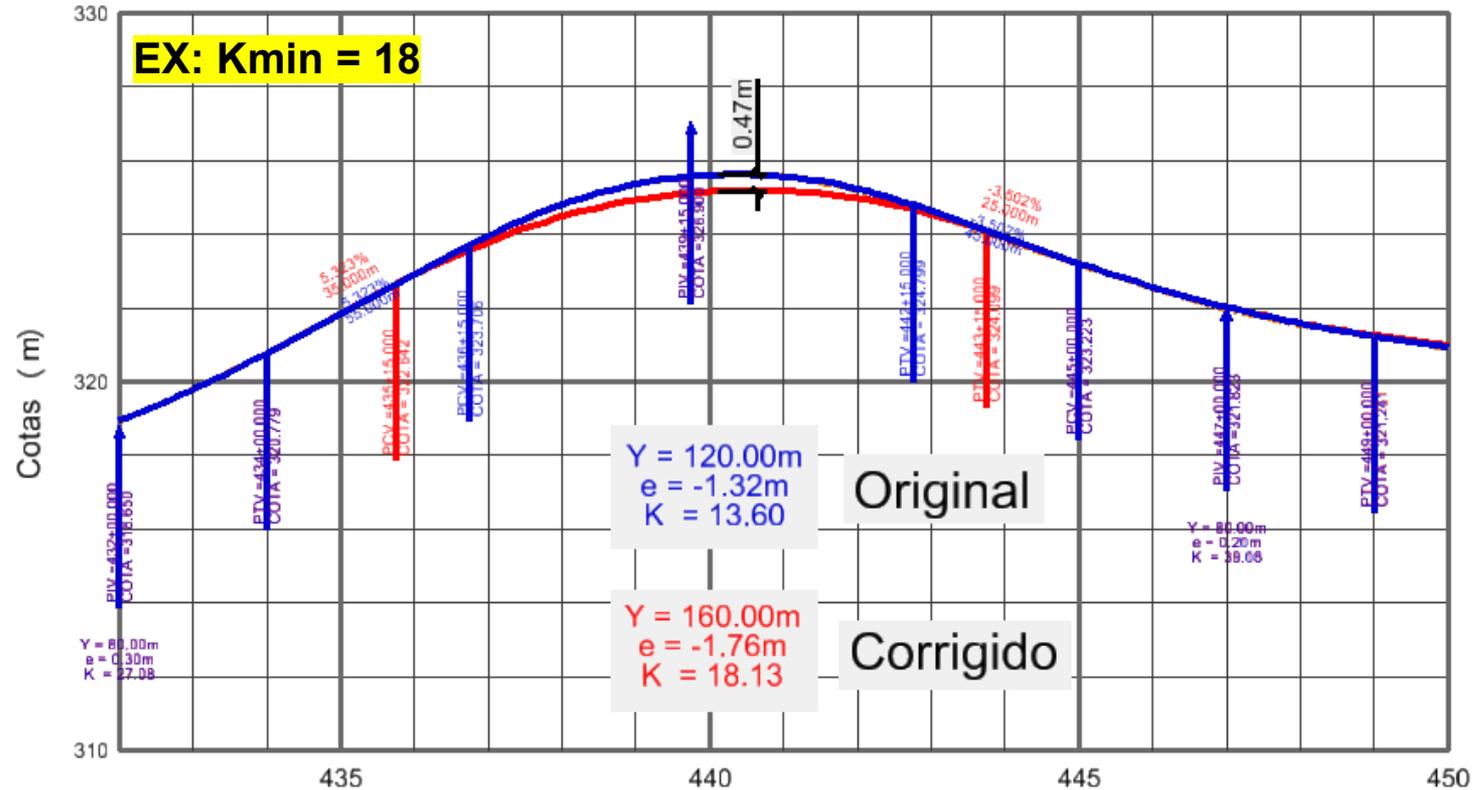
## 4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;

### Curva Côncava



## 4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;

### Curva Convexa



## Tipos de Projetos Geométricos

1. Implantação = Estudo de uma rodovia com traçado novo;
2. Estrada já Pavimentada = Restauração do Pavimento + Enquadrar a uma Classe;
3. Estrada não Pavimentada = Pavimentação + Enquadrar a uma Classe;
4. Estrada já Pavimentada necessitando de melhorias na Geometria;
5. Projeto de Duplicação

## 5. Projeto de Duplicação

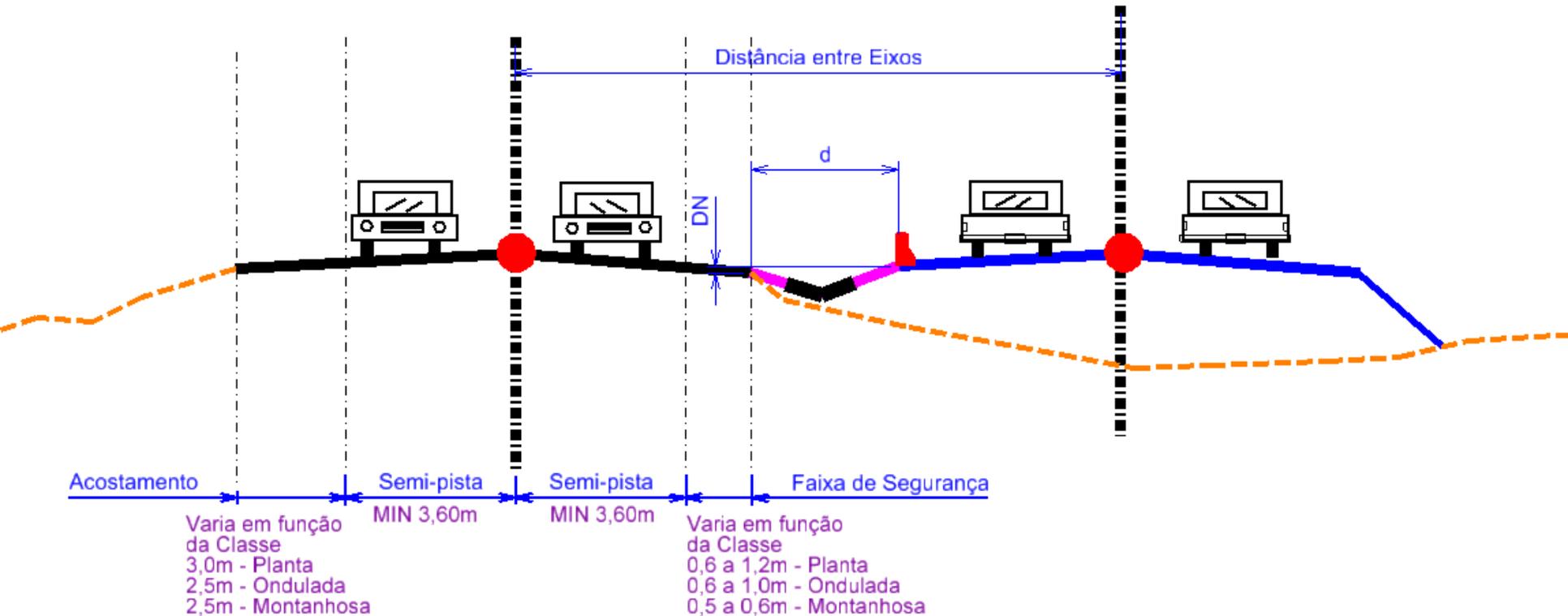
### Concordância com o greide da pista existente

- Para fluência do traçado o ideal seria que o greide da pista nova seja semelhante ao da existente, mas tem que ser considerado as inconsistências do greide existente (rampas fora dos limites, parábolas curtas), as implicações nos volumes de terraplenagem e a necessidade de concordância com vias locais e acessos;
- Tem que considerar a largura do canteiro e a declividade máxima admissível na transversal;
- Nos trechos em curva horizontal, deve ser considerada no projeto do greide (eixo da pista nova), que haverá superelevação e neste caso a concordância com pista existente não significa cotas iguais no eixo.
- Greide de vias locais devem concordar com vias transversais e soleira das edificações da faixa lindeira – traçado em planta no limite da faixa de domínio.

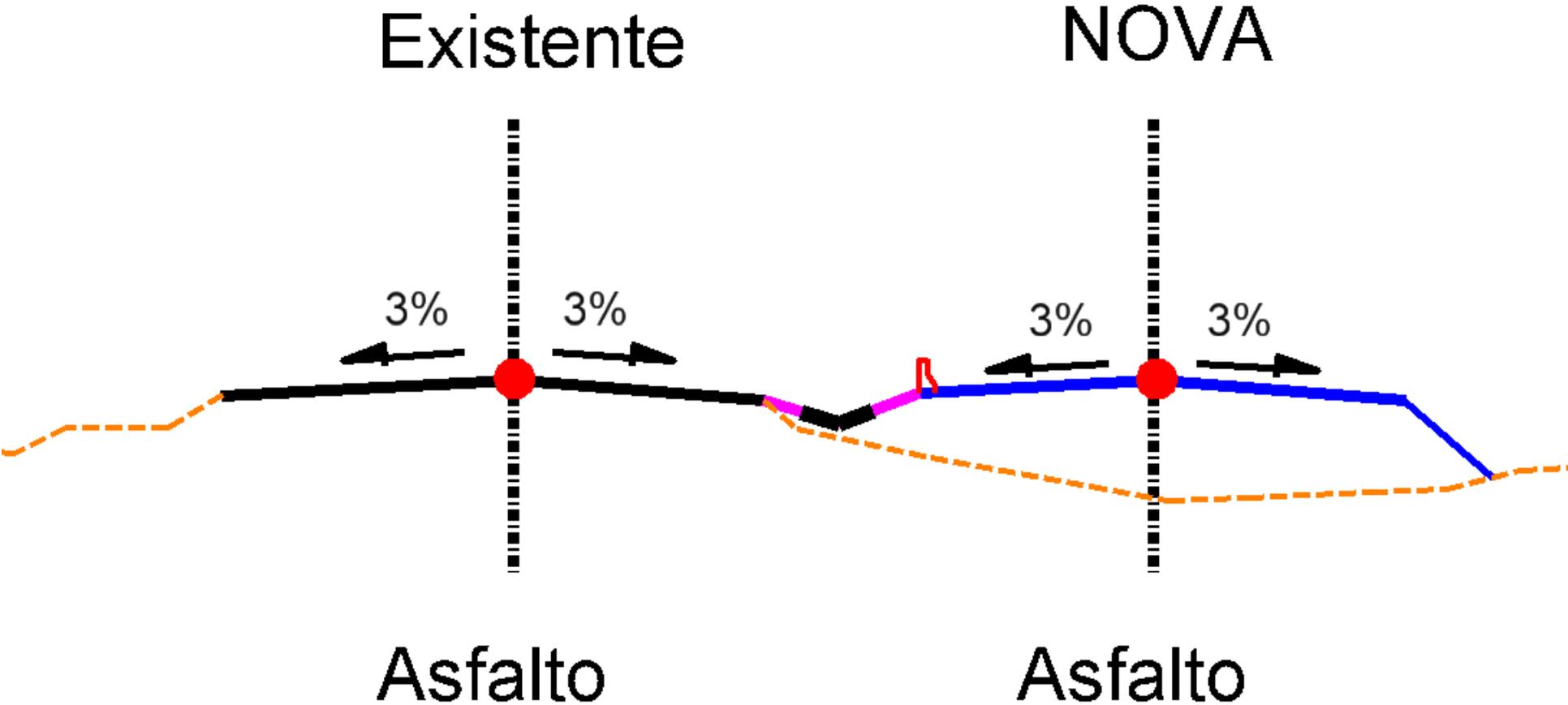
## 5. Projeto de Duplicação

### Existente

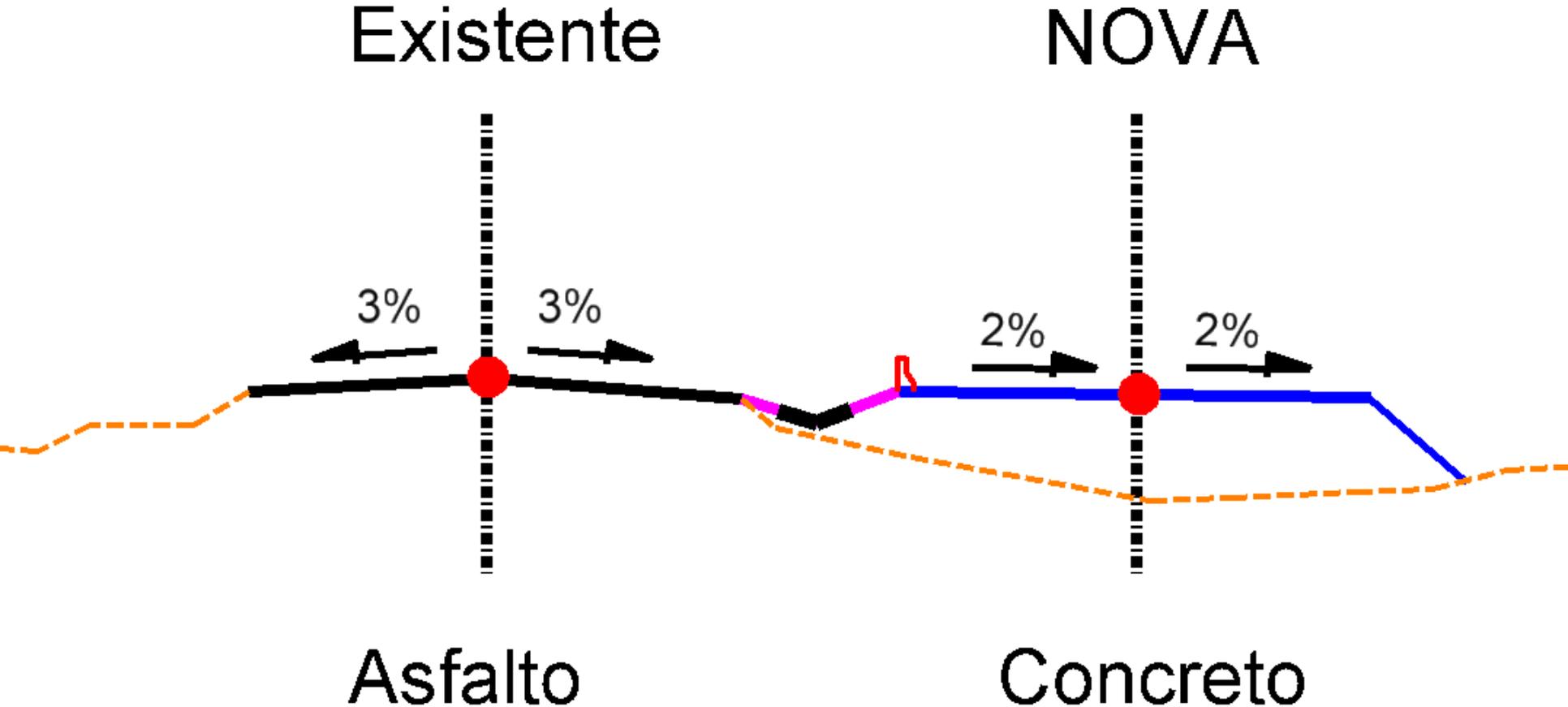
### NOVA



## 5. Projeto de Duplicação

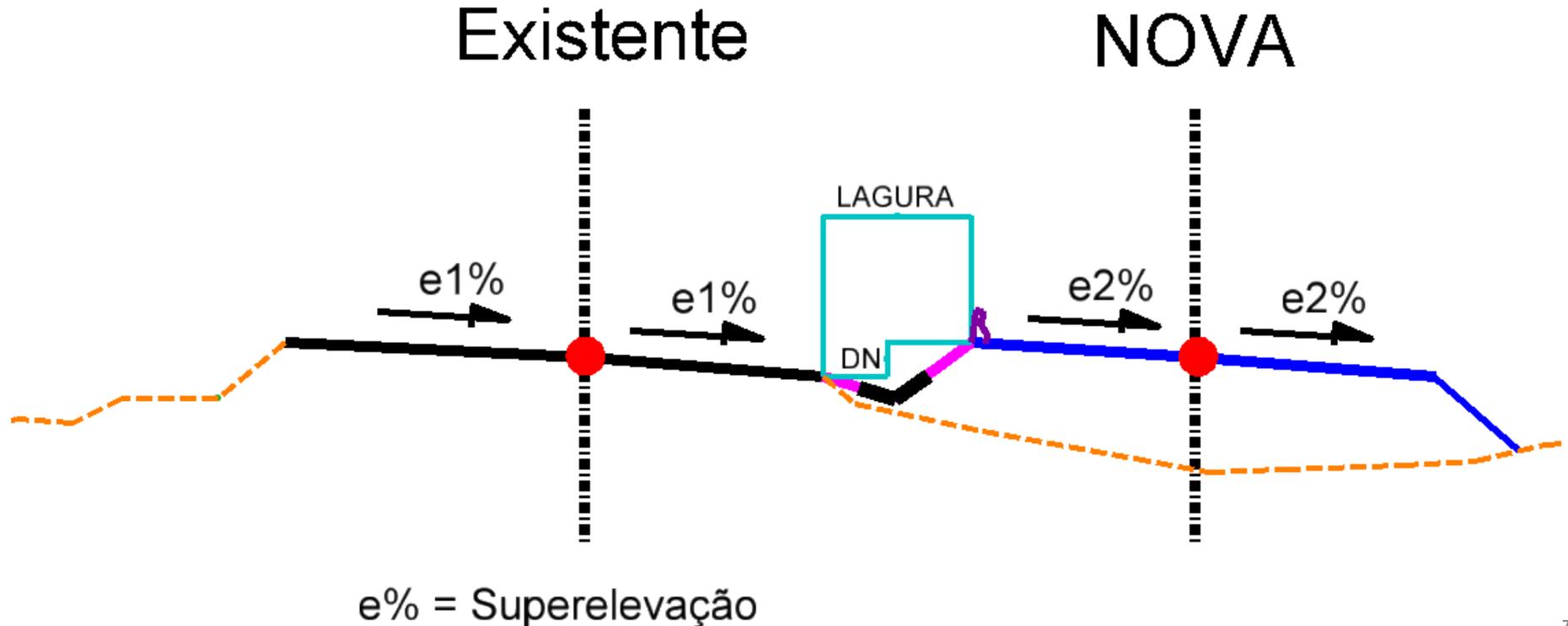


## 5. Projeto de Duplicação



## 5. Projeto de Duplicação

### Trecho de Curva para a Direita



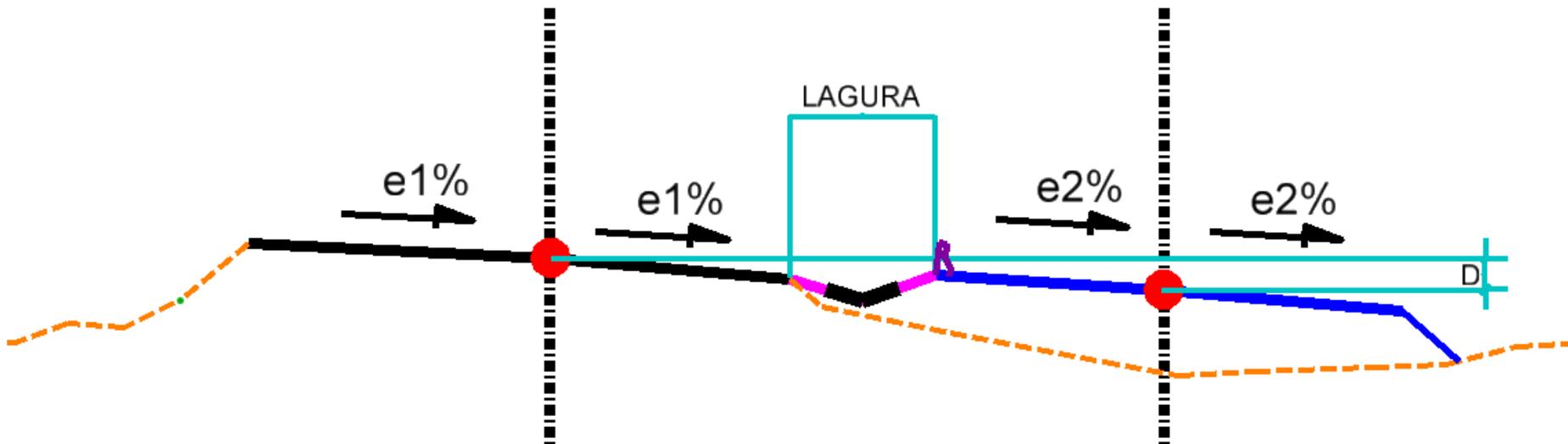
## 5. Projeto de Duplicação

### Trecho de Curva para a Direita

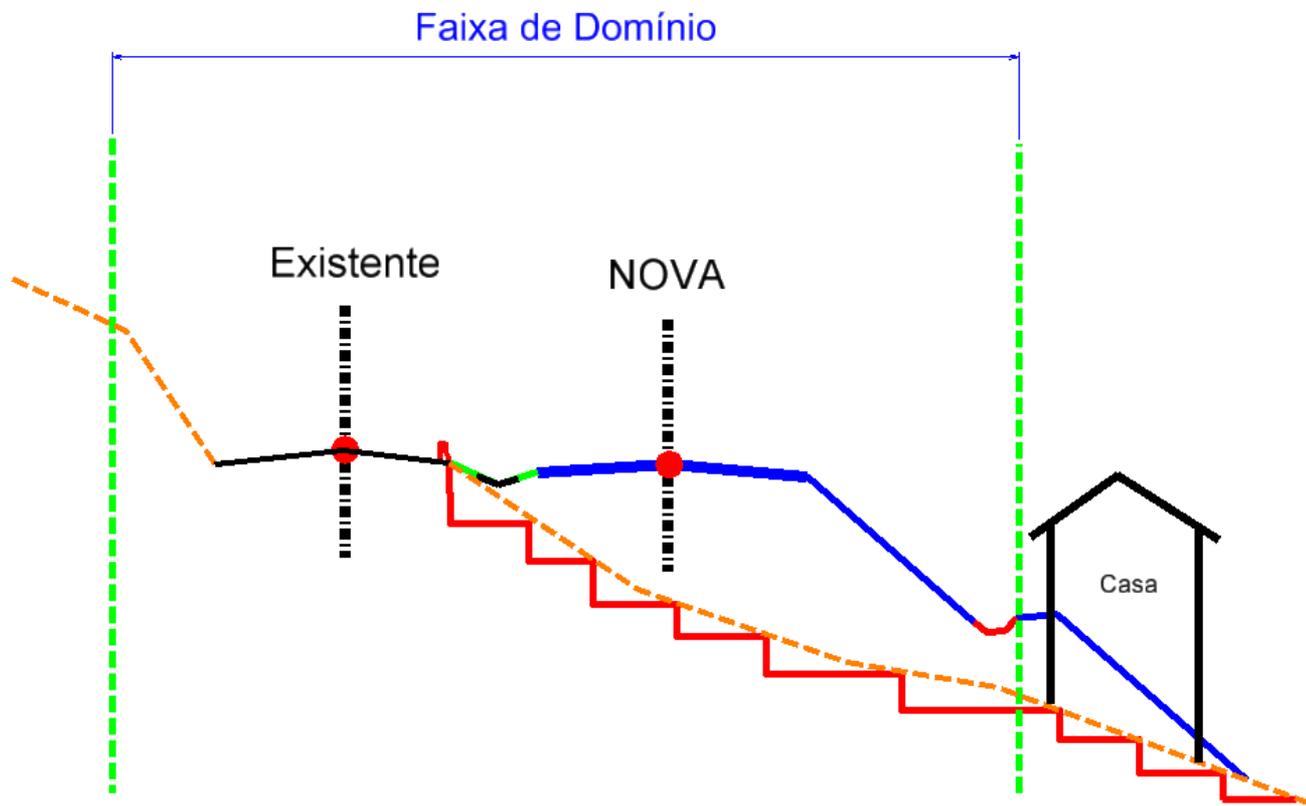
### AJUSTE NO GREIDE DEVIDO AO DN

Existente

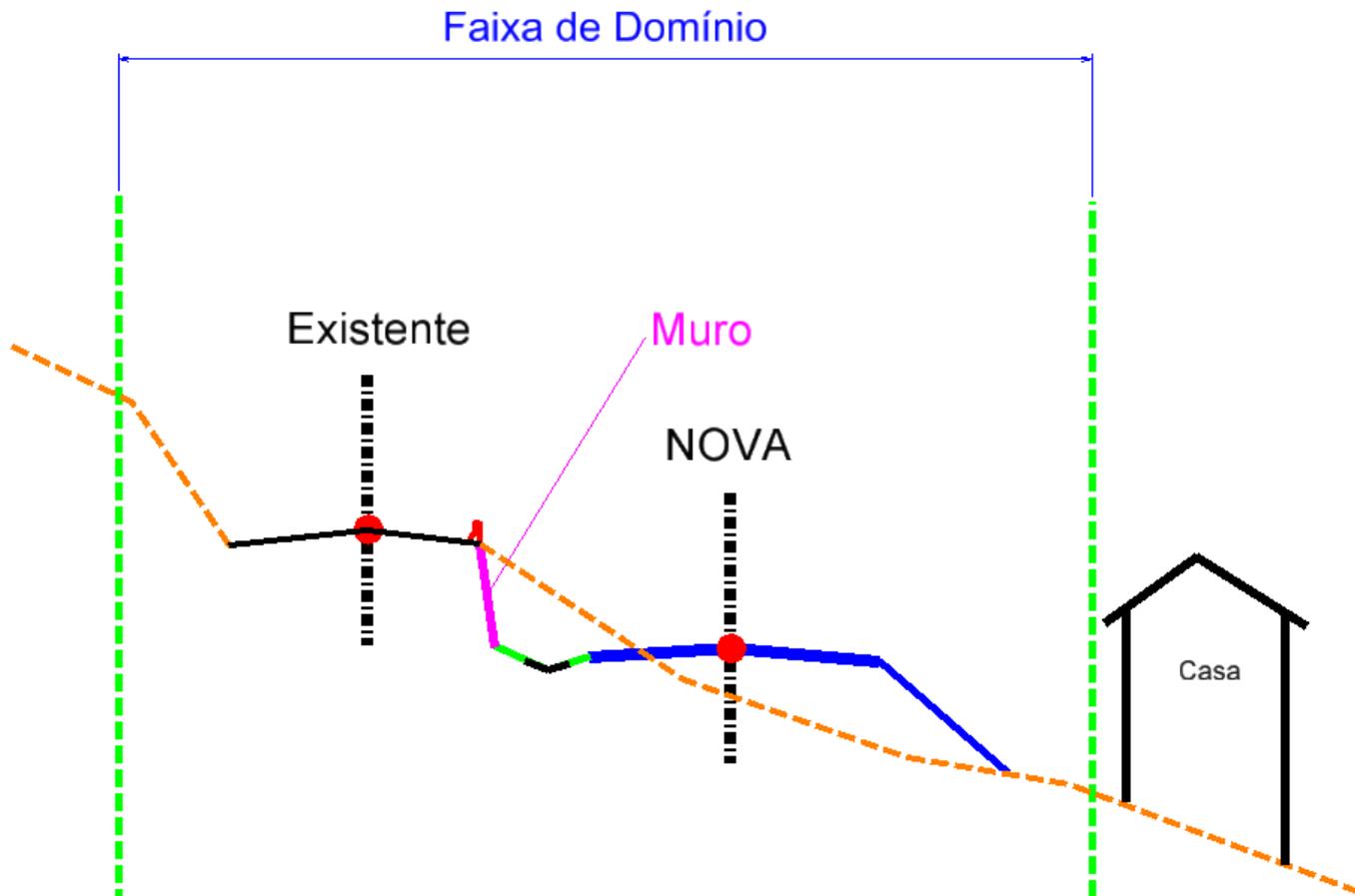
NOVA



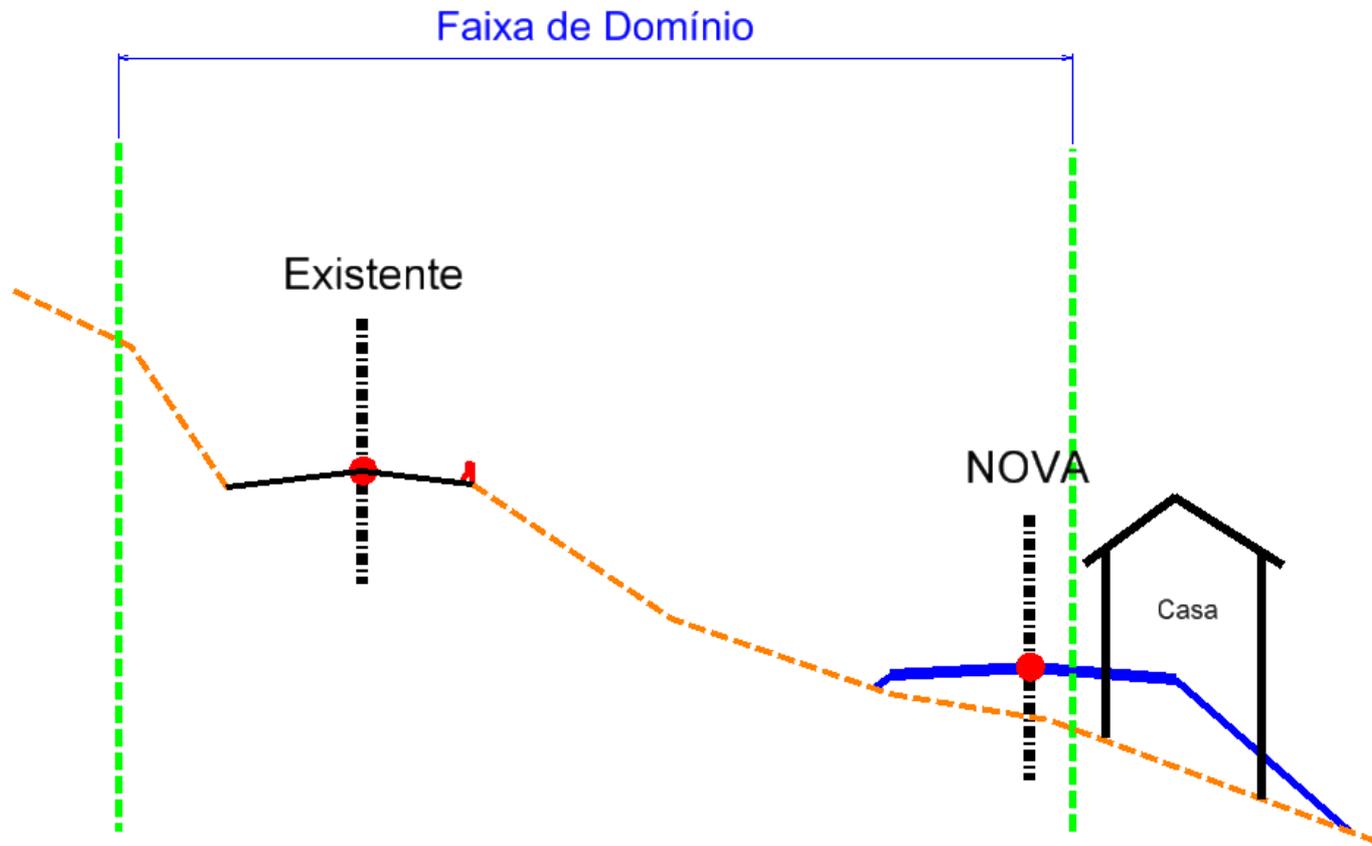
## 5. Projeto de Duplicação



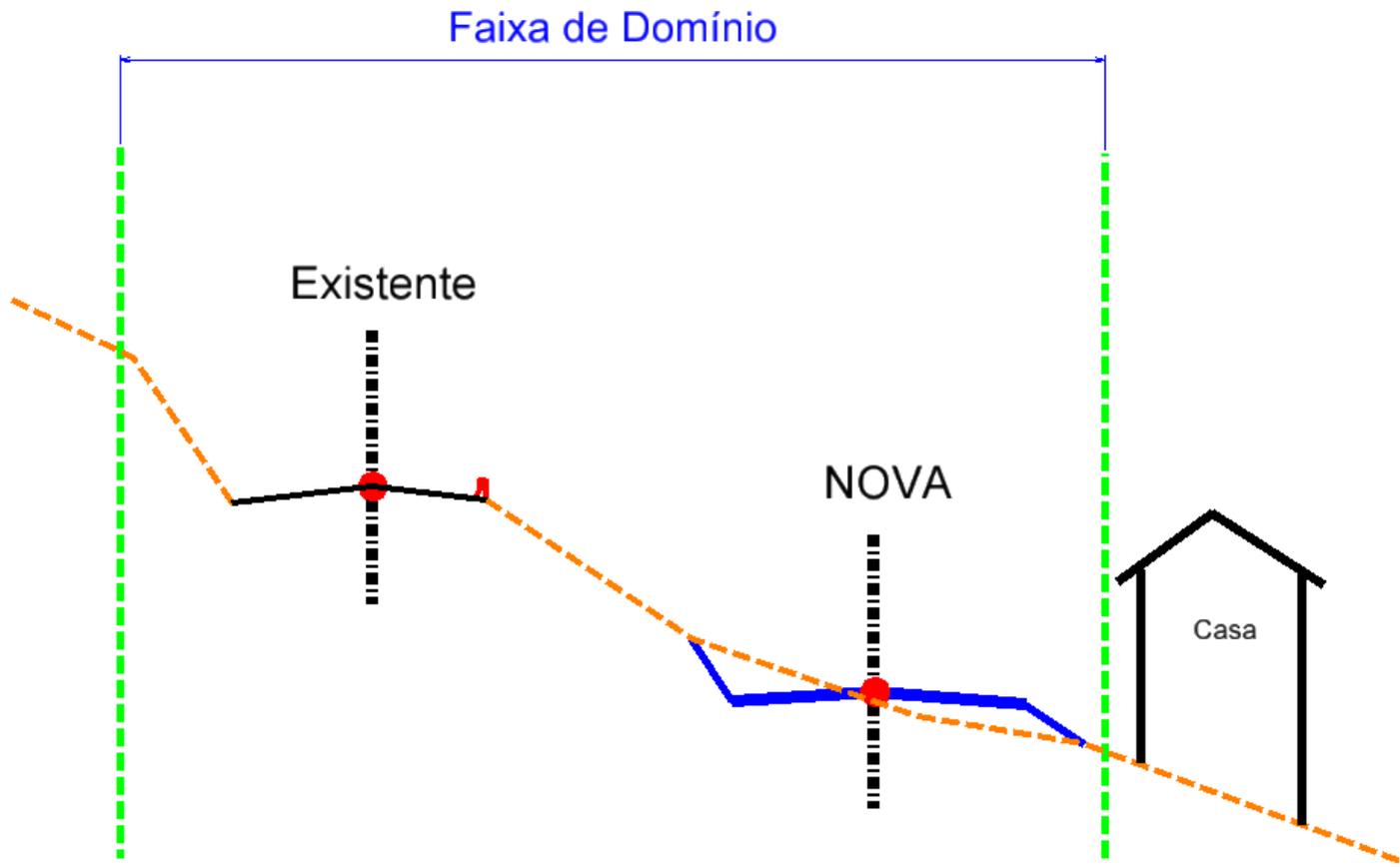
## 5. Projeto de Duplicação



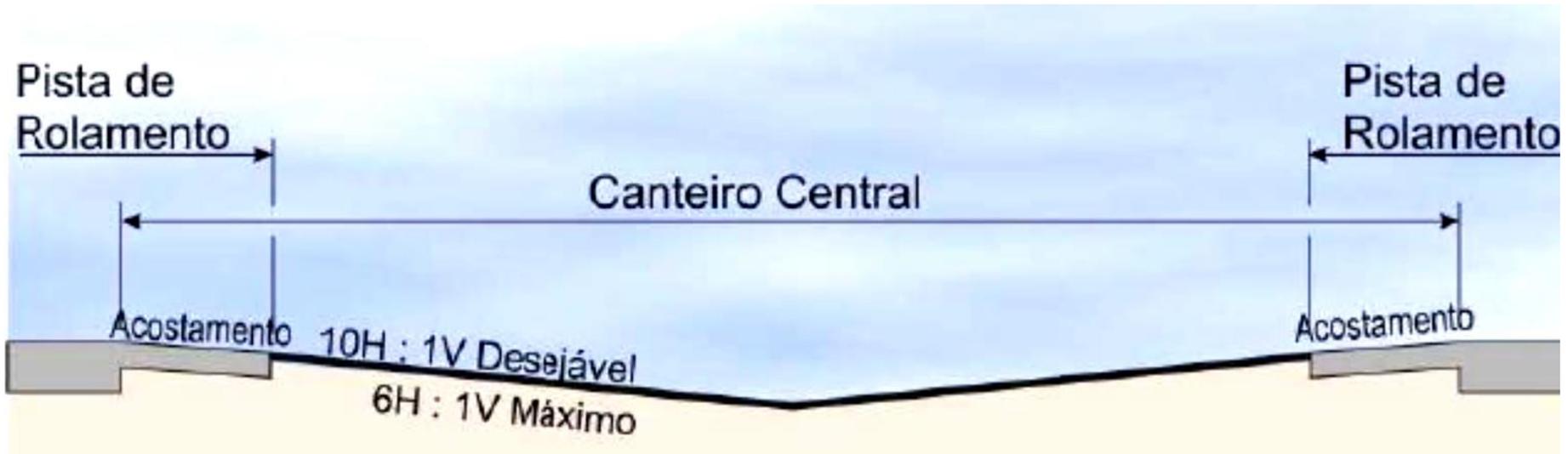
## 5. Projeto de Duplicação



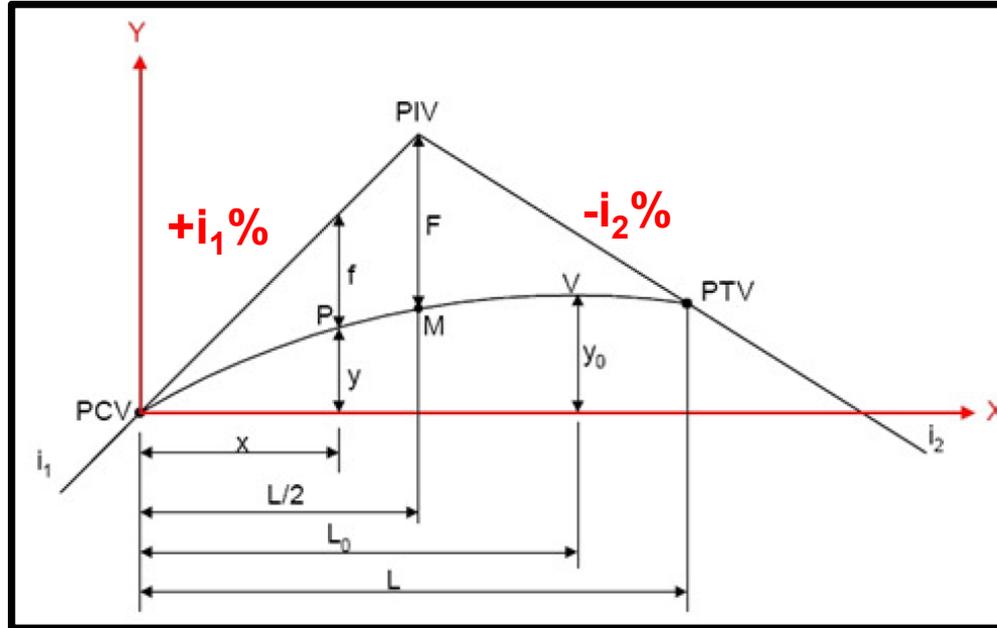
## 5. Projeto de Duplicação



## 5. Projeto de Duplicação

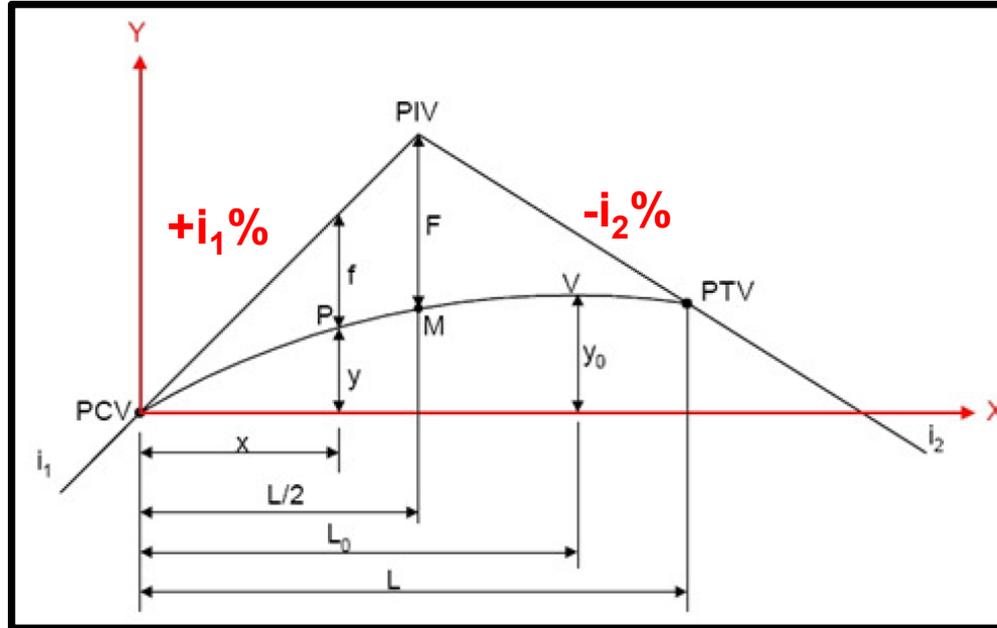


## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$$y = \frac{-g}{2.L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x \quad \left\{ \begin{array}{l} g = (i_1 - i_2) \text{ diferença algébrica das rampas} \\ Y = \text{Ordenada de qualquer ponto de Abscissa "x" da curva vertical} \end{array} \right.$$

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$$f = \frac{g}{2 \cdot L} \cdot x^2$$

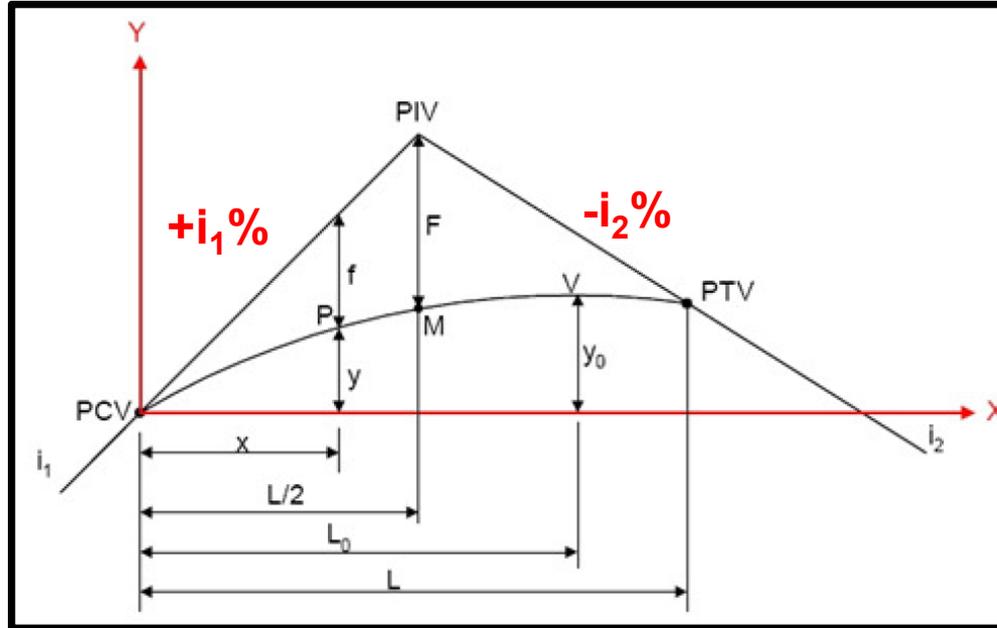
f = Flecha da Parábola (m)

g = Diferença algébrica das rampas (%)

L = Comprimento mínimo da Curva Vertical (m)

x = Distância Horizontal ao ponto de cálculo da flecha ao PCV (m)

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



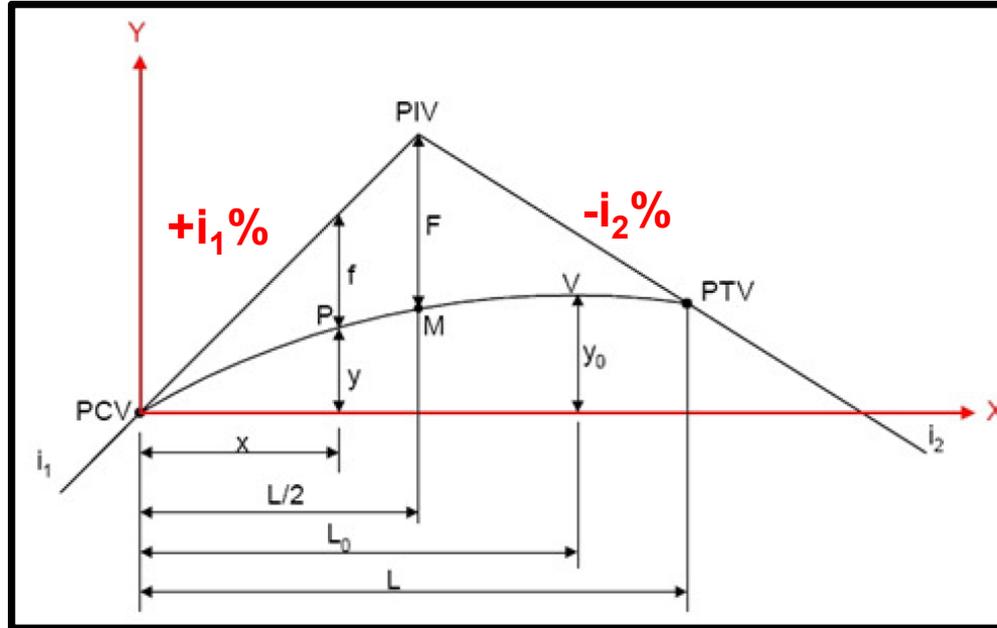
$$F = \frac{g \cdot L}{8}$$

F = Flecha Máxima no PIV (m)

g = Diferença algébrica das rampas (%)

L = Comprimento mínimo da Curva Vertical (m)

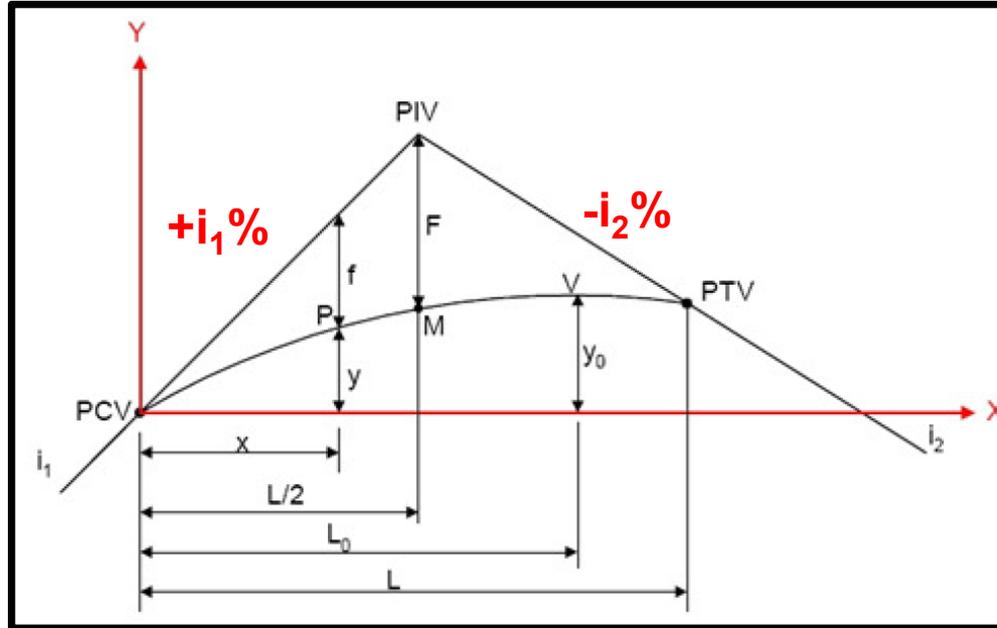
## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$$L_0 = \frac{i_1 \cdot L}{g}$$

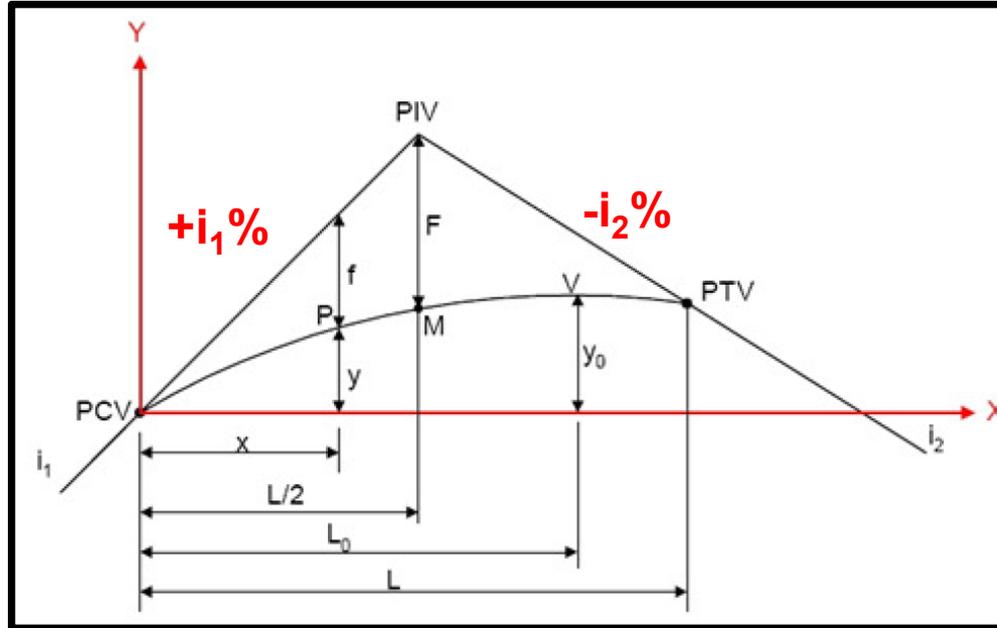
$i_1$  = Rampa  
 $g$  = Diferença algébrica das rampas em (%)  
 $L$  = Comprimento mínimo da Curva Vertical (m)

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$$y_0 = \frac{i_1^2 \cdot L}{2 \cdot g} \left\{ \begin{array}{l} i_1 = \text{Rampa} \\ g = \text{Diferença algébrica das rampas em (\%)} \\ L = \text{Comprimento mínimo da Curva Vertical (m)} \end{array} \right.$$

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



**Estacas:**  $PCV = PIV - \frac{L}{2}$

$$PTV = PIV + \frac{L}{2}$$

**Cotas:**  $PCV = PIV - i_1 \times \frac{L}{2}$

$$PTV = PIV + i_2 \times \frac{L}{2}$$

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

### 5.5.3 Concordância vertical

A função das curvas verticais é concordar as tangentes verticais dos greides. Normalmente, serão adotadas parábolas do 2º grau. Essas parábolas são definidas pelo seu parâmetro de curvatura K, que traduz a taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento, estabelecida para cada velocidade. O valor de K representa o comprimento da curva no plano horizontal, em metros, para cada 1% de variação na declividade longitudinal. Poderão ser empregadas curvas circulares de raio grande, obedecida a relação  $R = 100 K$ . Os comprimentos L das curvas de concordância vertical são obtidos multiplicado os valores do parâmetro K pela diferença algébrica A, em percentagem, das rampas concordadas, ou seja,  $L = K.A$ . Para facilitar de cálculo e locação, os valores adotados para L são geralmente arredondados para múltiplos de 20 metros.

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

Podem ser dispensadas curvas verticais quando a diferença algébrica das rampas for inferior a **0,5%**.

A concordância de rampas em sentido opostos mediante curvas verticais com elevados valores de K conduz a que haja um trecho adjacente ao ponto mais baixo ou mais alto da curva com declividades muito reduzidas. Tal circunstância pode causar dificuldades de drenagem nesse trecho, principalmente se este for dotado de meio-fios ou se ocorrem recalques diferenciais que contrabalancem a declividade transversal. Considerando **0,35%** o valor mínimo absoluto de rampa para fins de drenagem e limitando a 30 metros a extensão do referido trecho com declividades inferiores a 0,35%, decorre que o valor de K acima do qual a drenagem deverá receber maior atenção é:  $30 = 0,7K$ , ou seja,  $K = 43$ .

Os valores de K são estabelecidos levando simultaneamente em conta a máxima aceleração centrífuga admissível, a menor distância de visibilidade requerida e um valor mínimo absoluto que considera aspectos de visibilidade e aparência.

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

O Quadro 5.5.3.2 apresenta os valores de K arredondados para números inteiros em função das velocidades diretrizes e das distâncias de visibilidade de parada mínima e desejáveis para o caso de  $L \geq D$ .

**Quadro 5.5.3.2 - Valores de K**

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curva verticais convexas										
K – Mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K – Desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K – Mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K – Desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

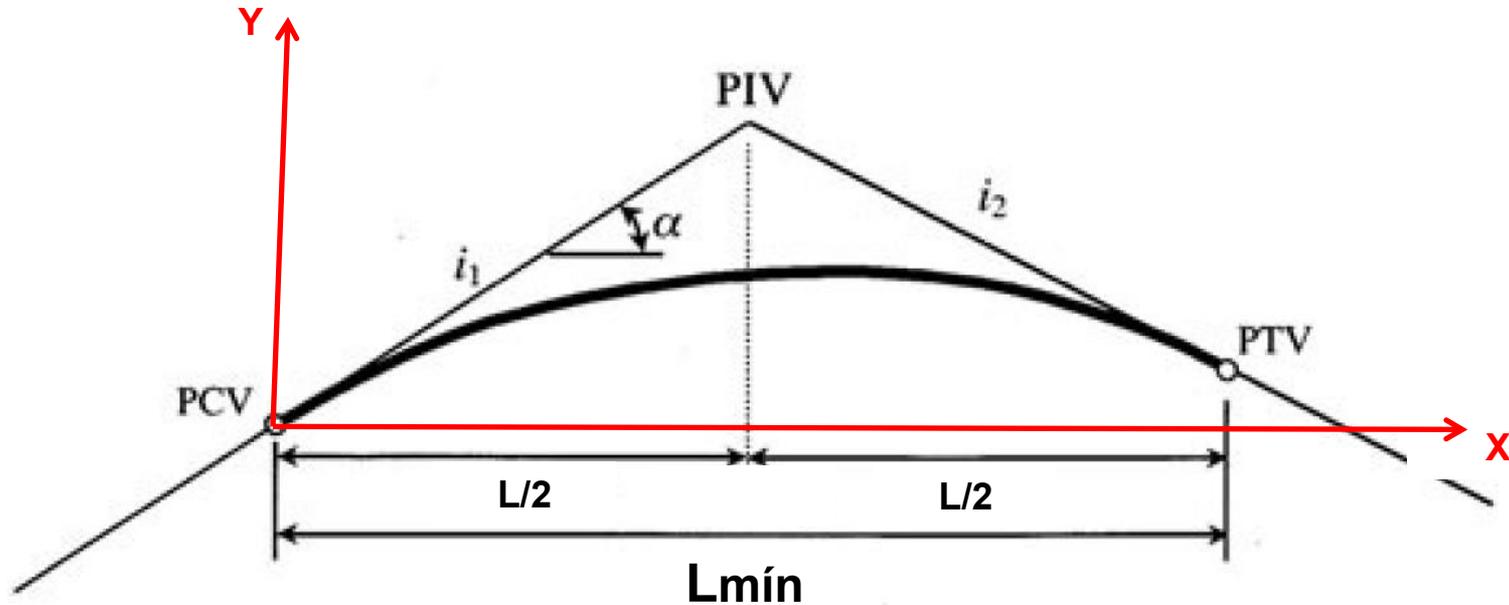
## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

Essas parábolas são definidas pelo parâmetro de curvatura **K**, que traduz a **taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento**, estabelecida para cada velocidade diretriz. O valor de **K** representa o comprimento da curva no plano horizontal, em metros, para cada 1% de variação na declividade longitudinal. As normas do DNIT definem os valores mínimos para “K” correspondentes a cada Classe de Projeto, conforme tabelas indicadas a seguir.

$$\begin{array}{l} L \longrightarrow |i_1 - i_2| \\ k \longrightarrow 1\% \end{array}$$

$$K = \frac{L}{|i_1 - i_2|} \left\{ \begin{array}{l} K = \text{Coeficiente da curva vertical} \\ g = (i_1 - i_2) = \text{Módulo da diferença algébrica das rampas (\%)} \\ L = \text{Comprimento Curva Vertical (m)} \end{array} \right.$$

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical



$$L_{\min} = K \cdot |i_1 - i_2| \left\{ \begin{array}{l} K = \text{Coeficiente da curva vertical} \\ g = (i_1 - i_2) = \text{Módulo da diferença algébrica das rampas (\%)} \\ L_{\min} = \text{Comprimento mínimo da Curva Vertical (m)} \end{array} \right.$$

# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

Sendo,

$$i_1 = +1,294\%$$

$$i_2 = -3,855\%$$

$$g = 5,149\% = 0,05149\text{m/m}$$

$$K = 48 = \frac{48\text{m}}{1\%} \quad \text{Se Rodovia Classe 1 – Região Ondulada – Curva Convexa teremos } \Rightarrow K = 48$$

$$L = K \cdot |i_1 - i_2| = \frac{48\text{m}}{1\%} * |i_1 - i_2| = \frac{48\text{m}}{\frac{1}{100} \text{ m/m}} * |i_1 - i_2| = \frac{4800\text{m}}{1 \text{ m/m}} * g$$

$$L_{\text{mín}} = \frac{4800\text{m}}{1 \text{ m/m}} * 0,05149\text{m/m}$$

$$L_{\text{mín}} = 247,152\text{m}$$

$$\longrightarrow L = 260\text{m} \longrightarrow$$

Arredondar para múltiplo de 20m, para que a estaca dos PCV e PTV fiquem com fração +0,00 ou fração +10,00

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

### 5.5.3.3 Critério do mínimo valor absoluto

O comprimento mínimo das curvas verticais deve permitir ao motorista perceber a alteração de declividade longitudinal sendo percorrida. Adotando para essa percepção um período de tempo mínimo de 2 segundos, o comprimento mínimo  $L$  da curva vertical é dado pela fórmula a seguir, que fornece valores que também atendem a considerações de aparência geral:

$$L_{\min} = 0,6 V$$

( $L$  em metros e  $V$  em km/h)

Os valores correspondentes a este critério, arredondados para fins de projeto, foram considerados nas Figuras 5.5.3.1 a 5.5.3.4, e apresentados como linhas verticais na parte esquerda de cada figura.

Geralmente, não será necessário prever curvas de transição entre a tangente vertical e a curva vertical, tendo em vista as curvaturas suaves que caracterizam a maioria das curvas verticais e o fato de que, ao contrário das curvas horizontais, não decorrem problemas de dirigibilidade e, ademais, a aceleração da gravidade contribui para manter o veículo na pista.

# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Unidade	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II		
		Plano	Ondul.	Mont.	Plano	Ondul.	Mont.	Plano	Ondul.	Mont.
Velocidade diretriz mínima	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50
Distância de visibilid. de parada: – mínimo desejável	m	310	210	140	210	140	85	210	110	65
	m	205	155	110	155	110	75	155	90	60
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem	m	–	–	–	680 <sup>(IB)</sup>	560 <sup>(IB)</sup>	420 <sup>(IB)</sup>	680	490	350
Raio mínimo de curva horizontal (p/superelev. máx.)	m	540	345	210	345	210	115 <sup>(1)</sup>	375	170	80
Taxa de superelevação máxima	%	10	10	10	10	10	10 <sup>(2)</sup>	8	8	8
Rampa máxima	%	3	4	5	3	4½	6	3	5	7
Valor K para curvas convexas: – mínimo desejável	m/%	233	107	48	107	48	18	107	29	10
	m/%	102	58	29	58	29	14	58	20	9
Valor K para curvas côncavas: – mínimo desejável	m/%	80	52	32	52	32	17	52	24	12
	m/%	50	36	24	36	24	15	36	19	11
Largura da faixa de trânsito	m	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,50	3,30
Largura do acostamento externo: – mínimo desejável	m	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	m	3,50	3,00 <sup>(3)</sup>	3,00 <sup>(3)</sup>	3,00 <sup>(3)</sup>	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00
Largura do acostamento interno: – pistas de 2 faixas	m	0,60-1,20	0,60-1,00	0,50-0,60	Somente para a classe IA.			–	–	–
	m	2,50-3,00	2,00-2,50	2,00-2,50	Aplicam-se os mesmos valores indicados para a classe 0.			–	–	–
	m	3,00	2,50-3,00	2,50-3,00				–	–	–
Gabarito vertical (altura livre): – mínimo desejável	m	–	–	–	–	–	–	5,50	5,50	5,50
	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	4,50	4,50	4,50
Afast. mín. borda do acost.: – obstáculos contínuos	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	m	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Largura do canteiro central: – largura desejável	m	10 – 18	10 – 18	10 – 18	10 – 12	10 – 12	10 – 12	–	–	–
	m	6 – 7	6 – 7	6 – 7	≥ 6	≥ 6	≥ 6	–	–	–
	m	3 – 7	3 – 7	3 – 7	3 – 7	3 – 7	3 – 7	–	–	–

Observações: <sup>(1)</sup> Somente para a classe IA; para a classe IB, considerar 125 m. <sup>(2)</sup> Somente para a classe IA; para a classe IB, considerar 6%.

<sup>(3)</sup> Preferivelmente 3,50 m quando for previsto volume horário unidirecional de caminhões superior a 250 vph (DNER, 1999, p. 144).

Fonte dos dados primários: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 161-168).

# Projeto Geométrico de Rodovia em Perfil

DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Unidade	CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B		
		Plano	Ondul.	Mont.	Plano	Ondul.	Mont.	Plano	Ondul.	Mont.
Velocidade diretriz mínima	km/h	80	60	40	60	40	30	60	40	30
Distância de visibilidade de parada: – mínimo desejável – mínimo absoluto	m	140	85	45	85	45	30	85	45	30
	m	110	75	45	75	45	30	75	45	30
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem	m	560	420	270	420	270	180	420	270	180
Raio mínimo de curva horizontal (p/superelev. máx.)	m	230	125	50	125	50	25	125	50	25
Taxa de superelevação máxima	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rampa máxima	%	4	6	8	4	6	8	6	8	10 <sup>(1)</sup>
Valor K para curvas convexas: – mínimo desejável – mínimo absoluto	m/%	48	18	5	18	5	2	18	5	2
	m/%	29	14	5	14	5	2	14	5	2
Valor K para curvas côncavas: – mínimo desejável – mínimo absoluto	m/%	32	17	7	17	7	4	17	7	4
	m/%	24	15	7	15	7	4	15	7	4
Largura da faixa de trânsito	m	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50
Largura do acostamento externo	m	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50
Gabarito vertical (altura livre): – mínimo desejável – mínimo absoluto	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
	m	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Afastam. mín. borda do acost.: – obstáculos contínuos – obstáculos isolados	m	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Observação: <sup>(1)</sup> Em extensão limitada a 300 m contínuos.

Fonte dos dados primários: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 161-168).

## Projeto Geométrico em Perfil – Alinhamento Vertical

### Exemplo Cálculo de Curva Vertical

