



# PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS

**CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

**DISCIPLINA: TT-048 – INFRAESTRUTURA VIÁRIA**

**PROFESSORES:**

*Daniane Vicentini*

*Diego Fernandes Neris*

*Edu José Franco*

*Márcia de Andrade Pereira Bernardinis*

2019

## Sumário

<b>1</b>	<b>PROJETOS DE ENGENHARIA.....</b>	<b>4</b>
1.1	FASES DE SERVIÇOS DE ENGENHARIA.....	4
1.1.1	PROJETO.....	5
1.1.2	CONSTRUÇÃO.....	7
1.1.3	OPERAÇÃO.....	9
1.1.4	CONSERVAÇÃO.....	9
1.2	SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D.....	10
1.3	ESTUDOS DE TRAÇADO/PROJETO GEOMÉTRICO.....	10
1.3.1	RECONHECIMENTO.....	11
1.3.2	EXPLORAÇÃO.....	13
1.3.3	PROJETO DA EXPLORAÇÃO.....	16
1.3.4	LOCAÇÃO.....	18
1.3.5	PROJETO DA LOCAÇÃO.....	18
1.3.6	PROJETO DA EXPLORAÇÃO / EXECUÇÃO DO PROJETO.....	18
1.3.7	ESCOLHA DA DIRETRIZ.....	21
1.4	EXERCÍCIOS.....	21
1.4.1	Calcular os comprimentos e os azimutes dos alinhamentos da figura abaixo. Calcular também os ângulos de deflexão.....	22
<b>2.</b>	<b>CURVAS HORIZONTAIS CIRCULARES.....</b>	<b>22</b>
2.1	INTRODUÇÃO - ESCOLHA DA CURVA.....	23
2.2	PONTOS E ELEMENTOS DA CURVA CIRCULAR.....	23
2.3	CÁLCULO DOS ELEMENTOS DAS CURVAS CIRCULARES.....	25
2.3.1	DEFLEXÃO E ÂNGULO CENTRAL.....	25
2.3.2	GRAU E RAIOS DA CURVA.....	26
2.3.3	DEFLEXÕES.....	26
2.3.4	OUTROS ELEMENTOS.....	27
2.4	SEQÜÊNCIA DE PROCEDIMENTOS PARA PROJETO.....	27
2.5	CÁLCULO DO ESTAQUEAMENTO.....	28
2.6	DESENHO.....	29
2.7	LOCAÇÃO.....	30
2.8	EXERCÍCIOS.....	31
<b>3.</b>	<b>CURVAS HORIZONTAIS DE TRANSIÇÃO.....</b>	<b>36</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	36
3.2	FORMAS DE IMPLANTAÇÃO DA TRANSIÇÃO.....	38
3.3	ESTUDO DA CURVA DE TRANSIÇÃO - ESPIRAL DE CORNU.....	40
3.3.1	PONTOS PRINCIPAIS DA TRANSIÇÃO.....	40
3.3.2	COMPRIMENTO DA TRANSIÇÃO.....	42
3.3.3	ÂNGULO CENTRAL DA ESPIRAL.....	42
3.3.4	COORDENADAS CARTESIANAS DE UM PONTO DA ESPIRAL.....	44
3.3.5	DEFLEXÕES DO RAMO DA ESPIRAL REFERENCIADO À ORIGEM.....	44
3.3.6	ELEMENTOS DE CÁLCULO DA CURVA DE TRANSIÇÃO.....	45
3.4	COMPATIBILIDADE ENTRE RAIOS E DEFLEXÃO.....	48
3.5	SEQÜÊNCIA DE PROCEDIMENTO DE PROJETO.....	48
3.6	ESTAQUEAMENTO.....	49
3.7	EXERCÍCIOS.....	49
<b>4.</b>	<b>SUPERELEVÇÃO.....</b>	<b>51</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	51
4.2	DEFINIÇÕES.....	51
4.3	NECESSIDADE DA SUPERELEVÇÃO.....	57

4.3.1	EQUILÍBRIO DE FORÇAS COM ATRITO TRANSVERSAL .....	57
4.3.2	LIMITES PARA A ADOÇÃO DE SUPERELEVAÇÃO .....	59
4.3.3	TAXAS LIMITES ADMISSÍVEIS PARA A SUPERELEVAÇÃO.....	59
4.3.4	RAIO MÍNIMO DE CURVATURA HORIZONTAL .....	61
4.3.5	TAXA DE SUPERELEVAÇÃO.....	62
4.3.6	NECESSIDADES E LIMITES DAS CURVAS HORIZONTAIS COM OU SEM TRANSIÇÃO.....	63
4.3.7	POSIÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO DA PISTA .....	63
4.4	COMPRIMENTOS DE TRANSIÇÃO.....	66
4.4.1	COMPRIMENTO DE TRANSIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO (L).....	66
4.4.2	COMPRIMENTO DE TRANSIÇÃO DO ABAULAMENTO (T).....	69
4.5	DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO .....	70
4.5.1	CURVAS ISOLADAS .....	70
4.5.2	CURVAS PRÓXIMAS .....	71
5.	<b>SUPERLARGURA .....</b>	<b>73</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	73
5.2	DEFINIÇÕES.....	74
5.3	LIMITES PARA A ADOÇÃO DE SUPERLARGURA .....	74
5.4	VALORES DE SUPERLARGURA PARA PROJETO.....	75
5.5	PISTAS COM MAIS DE DUAS FAIXAS.....	79
5.6	IMPLANTAÇÃO DA SUPERLARGURA .....	79
5.6.1	DISPOSIÇÃO DA SUPERLARGURA EM PISTA SIMPLES COM DUAS FAIXAS DE ROLAMENTO .....	79
5.7	EXERCÍCIOS DE SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA .....	81
6.	<b>DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE .....</b>	<b>87</b>
6.1	DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA .....	88
6.2	DISTANCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM.....	89
7.	<b>CURVAS VERTICAIS .....</b>	<b>92</b>
7.1	INTRODUÇÃO.....	92
7.2	DEFINIÇÃO DO TIPO DE CURVA VERTICAL.....	93
7.2.1	VANTAGENS DA PARÁBOLA DO 2º GRAU.....	93
A)	<b>A VARIAÇÃO DA DECLIVIDADE DE GREIDE É CONSTANTE AO LONGO DA CURVA. A PARÁBOLA É EXPRESSA GENERICAMENTE PELA EQUAÇÃO.</b> $y = Z * x^2$ .....	<b>93</b>
B)	<b>PODE-SE EMPREGAR CURVAS PARABÓLICAS COMPOSTAS PARA MELHOR ADAPTAÇÃO AO TERRENO.</b> .....	<b>93</b>
C)	<b>POSSIBILIDADE DE SE COLOCAR O INÍCIO E O FIM DA CURVA NUMA ESTACA INTEIRA OU INTERMEDIÁRIA, 10M OU 5M, O QUE PERMITE MAIOR PRECISÃO NA CONSTRUÇÃO DA CURVA NO TERRENO.</b> .....	<b>93</b>
D)	<b>NÃO HÁ NECESSIDADE DE TABELAS OU GABARITOS; PODE-SE CRIAR TABELAS PARA CURVAS CONVEXAS, EM FUNÇÃO DA VISIBILIDADE, DE FÁCIL APLICAÇÃO NO PROJETO E NO CÁLCULO DAS COTAS DO GREIDE.</b> .....	<b>94</b>
E)	<b>FACILIDADE PARA DESENHO DA CURVA</b> .....	<b>94</b>
F)	<b>FACILIDADE NO CÁLCULO DA COTA DE QUALQUER ESTACA INTERMEDIÁRIA.</b> .....	<b>94</b>
G)	<b>EQUAÇÕES SIMPLES E PROPRIEDADES ADEQUADAS</b> .....	<b>94</b>
7.2.2	PROPRIEDADES DA PARÁBOLA.....	94
7.3	ESTUDO DA PARÁBOLA DO 2º GRAU.....	95

7.3.1	PONTOS E ELEMENTOS DA PARÁBOLA .....	95
7.4	CÁLCULO DA PARÁBOLA.....	96
7.5	SISTEMAS DE EIXOS.....	99
7.6	SEQÜÊNCIA DE PROCEDIMENTOS PARA PROJETOS.....	100
7.7	EXERCÍCIOS .....	102
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>108</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>109</b>
9.1	UTILIZAÇÃO DO AUTOCAD CIVIL 3D .....	109
9.1.1	COMO UTILIZAR ESTE DOCUMENTO .....	109
9.1.2	ONDE OBTER O PROGRAMA .....	109
9.1.3	ONDE OBTER SUPORTE .....	110
9.1.4	TREINAMENTO “ON LINE” .....	111
9.1.4.1	Tutoriais.....	111
9.1.4.2	Videos (Watch and Learn).....	112
9.1.5	INICIANDO O PROGRAMA .....	114
9.1.6	INICIANDO UM PROJETO .....	117
9.1.6.1	Criando a superfície do Terreno .....	117
9.1.6.2	Criando o Alinhamento Horizontal.....	119
9.1.6.3	Criando o Alinhamento Vertical.....	119
9.1.6.4	Criando o Gabarito da Plataforma .....	121
9.1.6.5	Criando o modelo 3d da Estrada – Corridor .....	121
9.1.6.6	Cortando as Seções Transversais do Modelo.....	122
9.1.6.7	Calculando os Volumes .....	123
9.1.6.8	Notas de Serviço.....	124

# 1 PROJETOS DE ENGENHARIA

## 1.1 FASES DE SERVIÇOS DE ENGENHARIA

Qualquer obra de engenharia seja civil, hidráulica, de transportes, saneamento, mista, etc., desde a sua concepção inicial até a sua devida utilização prática, exige a aplicação de quatro fases interdependentes de serviços, de igual importância:

**PROJETO**

**CONSTRUÇÃO**

**OPERAÇÃO**

## CONSERVAÇÃO

### 1.1.1 PROJETO

O projeto de uma obra de engenharia, em particular, de uma "estrada", chamado de Projeto Final de Engenharia, Projeto Final ou simplesmente Projeto de Engenharia, deve ser o mais completo (abrangente) possível, de fácil entendimento, perfeitamente exequível para as condições vigentes, com identificação e solução dos prováveis problemas. Para isso, deve-se observar padronização conforme normas estabelecidas, além de conter todos os elementos quantitativos, qualitativos e técnicos nos níveis de detalhamento ideal para a sua melhor e integral aplicação.

#### **PROJETO DE RODOVIAS**

Um projeto de rodovia pode ter subdivisões inter-relacionadas conforme suas necessidades próprias, mas de uma maneira geral, os Projetos de Engenharia são informalmente padronizados, compreendendo os seguintes tópicos:

*ESTUDOS DE TRÁFEGO* - trata da coleta de dados de tráfego, seu estudo e análise do tráfego atual e futuro com vistas a propiciar meios necessários para avaliar a suficiência do sistema de transporte existente, auxiliar na definição do traçado e padrão da rodovia, definir a classe e suas características técnicas, determinar as características operacionais da rodovia e fornecer insumos para a análise de viabilidade econômica.

*ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA* - tem por objetivo dar subsídios para seleção das alternativas de traçado mais convenientes, determinar as características técnicas mais adequadas em função dos estudos de tráfego e definir a viabilidade econômica do projeto. É desenvolvido ainda na fase inicial (preliminar) dos serviços, ou seja, de reconhecimento da área a ser projetada.

*ESTUDOS HIDROLÓGICOS* - consistem na coleta de dados, processamento destes dados e análise relativa a todo aspecto hidrológico nas diversas fases de projeto.

*ESTUDOS TOPOGRÁFICOS* - consistem na busca do pleno conhecimento do terreno através de levantamento topográfico convencional ou por processo aerofotogramétrico, com formas de trabalho, precisão e tolerância em consonância à fase de projeto que se desenvolve.

*ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS* - têm por objetivo o melhor conhecimento da constituição do terreno através de sondagens e coleta de materiais no campo e consequentes ensaios destes materiais para definição de suas características e aplicabilidade.

*PROJETO GEOMÉTRICO* - tem por objetivo o completo estudo e consequente definição geométrica de uma rodovia, das características técnicas, tais como raios de curvaturas, rampas, plataforma, etc..., com precisão tal que permita sua conformação espacial, sua quantificação, correspondente orçamento e possibilite a sua perfeita execução através de um planejamento adequado.

*PROJETO DE TERRAPLENAGEM / OBRAS DE ARTE CORRENTES* - consiste na determinação dos volumes de terraplenagem, dos locais de empréstimos e bota-fora de materiais e na elaboração de quadros de distribuição do movimento de terra, complementado pela definição das Obras de Arte Correntes.

*PROJETO DE DRENAGEM* - visa estabelecer a concepção das estruturas que comporão o projeto de drenagem superficial e profunda, estabelecendo seus dimensionamentos e apresentando quadros identificativos do tipo de obra, localização e demais informações.

*PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO* - objetiva estabelecer a concepção do projeto de pavimento, a seleção das ocorrências de materiais a serem indicados, dimensionamento e definição dos trechos homogêneos, bem como o cálculo dos volumes e distâncias de transporte dos materiais empregados.

*PROJETO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS* - consiste na concepção, no cálculo estrutural e na confecção das plantas de execução de pontes e viadutos.

*PROJETO DE INTERSEÇÕES, RETORNOS E ACESSOS* - consiste na identificação e concepção de projeto, detalhamento e demonstração das plantas de execução destes dispositivos.

*PROJETO DE OBRAS COMPLEMENTARES* - é desenvolvido em função dos demais projetos, complementando-os conforme análise de necessidades de implantação de dispositivos de funcionalidade e de segurança do complexo da obra de engenharia, com definições, desenhos e localizações detalhadas dos dispositivos projetados; também envolve os projetos especiais de paisagismo e locais de lazer nas áreas adjacentes à via em estudo a partir de um cadastro pedológico e vegetal.

*PROJETO DE SINALIZAÇÃO* - é composto pelo projeto de sinalização horizontal e vertical das vias, interseções e acessos, também pela sinalização por sinais luminosos em vias urbanas, onde são especificados os tipos dos dispositivos de sinalização, localização de aplicação e quantidades correspondentes.

*PROJETO DE DESAPROPRIAÇÃO* - é constituído de levantamento topográfico da área envolvida, da determinação do custo de desapropriação de cada unidade, do registro das informações de cadastro em formulário próprio, da planta cadastral individual das propriedades compreendidas, total ou parcialmente na área e, por fim, relatório demonstrativo.

*PROJETO DE INSTALAÇÕES PARA OPERAÇÃO DA RODOVIA* - é constituído de memória justificativa, projetos e desenhos específicos e notas de serviços dos dispositivos tais como postos de pedágio, postos de polícia, balanças, residências de conservação, postos de abastecimento, áreas de estacionamento, paradas de ônibus, etc...

*ORÇAMENTO DOS PROJETOS* - consiste na pesquisa de mercado de salários, materiais, equipamentos, etc, para o cálculo dos custos unitários dos serviços e estudo dos custos de transportes para confecção do orçamento total da obra.

*PLANO DE EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS* - apresenta um plano de ataque dos serviços considerando a forma e equipamento para execução, bem como os cronogramas e dimensionamento/ “layout” das instalações necessárias à execução da obra.

*DOCUMENTOS PARA LICITAÇÃO* - visam identificar e especificar as condições que nortearão a licitação dos serviços para execução da obra.

*ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)* – trata-se da execução por equipe multidisciplinar das tarefas técnicas e científicas destinadas a analisar sistematicamente as consequências da implantação de um projeto no meio ambiente, através de métodos de avaliações próprios e técnicas de previsão dos impactos ambientais e consequente desenvolvimento de medidas específicas de proteção, recuperação e melhorias no meio ambiente, garantindo o mínimo efeito ao ecossistema.

*RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA)* – é o documento que apresenta os resultados dos estudos técnicos e científicos da avaliação de impacto ambiental; Deve conter o esclarecimento de todos os elementos da proposta em estudo, de modo que possam ser divulgados e apreciados pelos grupos sociais interessados e por todas as instituições envolvidas na tomada de decisão.

Nesta disciplina trataremos em maiores detalhes o projeto geométrico, de terraplenagem, de drenagem, de obras complementares, de sinalização e orçamento.

### **1.1.2 CONSTRUÇÃO**

A fase de construção de uma obra de engenharia, que deve orientar-se rigorosamente pelo correspondente projeto, é composta por uma grande quantidade de diferentes serviços que, normalmente, são agrupados em 4 títulos gerais:

- a. IMPLANTAÇÃO BÁSICA**
- b. OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

**c. TÚNEIS****d. SUPERESTRUTURA**

Cada um destes grupos de serviços de construção compreende divisões e subdivisões em itens ou unidades de serviço, como segue:

**IMPLANTAÇÃO BÁSICA**

a. SERVIÇOS PRELIMINARES	{	Destocamento Desmatamento Limpeza
b. OBRAS DE ARTE CORRENTES	{	Bueiros diversos Bocas de bueiros Saídas d'água Drenos
c. TERRAPLENAGEM	{	Escavação/carga/ Transporte/descarga Compactação
d. SERVIÇOS COMPLEMENTARES	{	Sarjetas Dispositivos de. Proteção

**OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**

- a. PONTES;
- b. VIADUTOS;
- c. OBRAS DE CONTENÇÃO.

**TÚNEIS**

- a. COM ESTABILIDADE NATURAL;
- b. COM ESTABILIDADE ARTIFICIAL.

**SUPERESTRUTURA**

- a. LEITO NATURAL: Solo local espalhado;
- b. REVESTIMENTO PRIMÁRIO: Solo local ou importado, estabilizado;
- c. PAVIMENTO: Asfalto, concreto, pedra, paralelepípedo.



### **1.1.3 OPERAÇÃO**

O controle operacional de uma rodovia tem por objetivo analisar continuamente os níveis de serviço nos diversos trechos, através de instrumentos de gestão que garantam a imediata tomada de decisões para solucionar os eventuais problemas ou situações que possam ameaçar a segurança e o conforto dos usuários.

Para tanto, deverão estar permanentemente disponíveis os serviços operacionais de:

- Inspeção de trânsito (sinalização e emergência);
- Atendimento pré-hospitalar (primeiros socorros e remoção);
- Atendimento mecânico (resgate/ guincho);
- Atendimento de incidentes (limpeza de pista);
- Fiscalização de trânsito (polícia rodoviária);
- Unidades móveis de controle de peso dos veículos (balanças).

Além dos serviços de apoio acima descritos, nas modernas rodovias são indispensáveis os sistemas de comunicação e controle, tais como telefonia de emergência (caixas de chamada) e comunicação entre viaturas e, em algumas estradas mais modernas, são implantados sistemas de câmeras de TV para monitoramento permanente (Ex: Via Dutra).

Historicamente o Governo sempre foi o responsável pela operação das rodovias, no entanto, nos últimos anos ocorreu um progresso na forma de operação das rodovias através da promulgação de uma legislação que permite a concessão de serviços públicos para a iniciativa privada.

Dentro deste modelo de concessões rodoviárias, o Governo concede para a iniciativa privada a exploração de um determinado trecho rodoviário, exigindo desta a realização de obras para ampliação da capacidade e conservação da rodovia, autorizando-a a cobrar pedágio dos usuários. Nestas situações o Governo mantém-se como controlador e fiscalizador das operações de cobrança e de execução das obras necessárias.

### **1.1.4 CONSERVAÇÃO**

Toda obra de engenharia, por princípios de concepção, tem por propósito a manutenção de suas características básicas, apesar da ação implacável do tempo em si e das variações freqüentes das condições climáticas (agentes atmosféricos) e ainda, no caso de rodovias e vias urbanas,

a ação do tráfego dos veículos que tendem a desgastar tais obras, podendo levar até a total destruição.

Para garantir as características das obras e conseqüentemente evitar a possível destruição, e visando a manutenção de boas condições de tráfego e segurança, são executados os serviços de conservação que, por sua vez, é subdividida em:

- a) **Rotineira:** consiste na manutenção diária, constante, com serviços de finalidade preventiva;
- b) **Periódica:** consiste em consertar e refazer trechos envolvendo grandes quantidades de serviços.

Atualmente vem desenvolvendo-se uma importante ferramenta para melhor conhecimento, dimensionamento e planejamento das necessidades da conservação através do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos - SGP.

## 1.2 SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D

O Civil 3D é uma ferramenta para solução de projetos de infraestrutura, tais como estradas, ferrovias, drenagem e mineração de barragem. O software é a solução de modelagem de informações de construção (BIM) para uso em projetos e documentação de engenharia civil.

Essa ferramenta destaca-se no mercado de projetos como uma das ferramentas com tecnologia mais avançada para o desenvolvimento de projetos que necessitam fazer a modelagem de terrenos, estradas, barragens e loteamentos entre outras aplicações. A partir do levantamento topográfico, o usuário gera o modelo digital do terreno natural e passa a construir os alinhamentos e perfil necessários ao trabalho.

O software é voltado para engenheiros, topógrafos, agrimensores, técnicos em estradas, estudantes, empresas de barragens, rodovias, usinas e grandes construções que precisam de uma ferramenta completa para o trabalho de manipulação de desenvolvimento de terrenos.

A utilização passo-a-passo do software pode ser encontrada em anexo nessa apostila.

## 1.3 ESTUDOS DE TRAÇADO/PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico ou geometria de uma rodovia ou via urbana é composto por um conjunto de levantamentos, estudos, definições das melhores soluções técnicas, cálculos e muitos outros elementos que, harmonicamente, integrarão uma das fases dos serviços de engenharia visando garantir a viabilidade técnica, econômica e social do produto final.

Uma das fases preliminares que antecede os trabalhos de execução do projeto geométrico propriamente dito é a constituída pelos estudos de traçado, que tem por objetivo principal a delimitação dos locais convenientes para a

passagem da rodovia ou via urbana, a partir da obtenção de informações básicas a respeito da geomorfologia da região e a caracterização geométrica desses locais de forma a permitir o desenvolvimento do projeto.

Com o objetivo de identificar os processos de dimensionamento e disposição das características geométricas espaciais (conformação tridimensional) do corpo estradal, a seguinte classificação, por fase, para a elaboração de um projeto pode ser considerada:

- **RECONHECIMENTO** - terrestre ou aerofotogramétrico;
- **EXPLORAÇÃO** - terrestre ou aerofotogramétrica;
- **PROJETO DA EXPLORAÇÃO**;
- **LOCAÇÃO**;
- **PROJETO DA LOCAÇÃO**.

Atualmente, as duas primeiras fases deixaram de ser executadas com base em operações topográficas, passando-se a adotar trabalhos aerofotogramétricos e até o auxílio do produto de sensoriamento remoto baseado em fotos emitidas por satélites. No entanto, por comodidade de visualização, vamos nos referir basicamente aos recursos da topografia, sendo de aplicação idêntica nos procedimentos mais modernos.

A locação é totalmente feita por processos topográficos.

### **1.3.1 RECONHECIMENTO**

Definidos os objetivos da obra, os pontos extremos e possivelmente os pontos intermediários e demais elementos caracterizadores do projeto, passa-se à execução das operações que permitam o reconhecimento da área territorial de trabalho através de levantamento topográfico expedito ou aerofotogramétrico, complementado com informações geológicas e hidrológicas, de relativa precisão, cobrindo duas ou mais faixas de terreno que tenham condições de acomodar a pretendida estrada. Dentre as opções de faixas de exploração detectadas vamos selecionar as mais adequadas às especificações do projeto.

Teoricamente o traçado ideal é a linha reta ligando pontos de interesse, o que é buscado na prática, mas raramente factível.

Os pontos extremos, onde deve iniciar e terminar a futura via são imposições do projeto, chamados de *pontos obrigatórios de condição*. Os demais pontos intermediários pelos quais a estrada deve passar, sejam por imposição do contratante do projeto ou por razões técnicas, são chamados de *pontos obrigatórios de passagem*.

No reconhecimento são realizadas as seguintes tarefas:

- a. **LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO;**
- b. **LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO LONGITUDINAL;**
- c. **LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO TRANSVERSAL;**
- d. **DESENHO;**
- e. **ANTEPROJETO.**

As escalas para os desenhos são variáveis e escolhidas em função da extensão da estrada, quantidades de representações e critérios específicos. A escala vertical é sempre 10 vezes maior que a escala horizontal, sendo mais empregadas as seguintes escalas:

- Horizontal: 1/10.000 e Vertical: 1/1.000;
- Horizontal: 1/5.000 e Vertical: 1/500.

As cores utilizadas seguem a seguinte convenção:

- *Nanquim preto*: para representar o eixo da poligonal, detalhes planimétricos, limites de propriedades, nomes, numeração de estacas, descrição do terreno e vegetação;
- *Marrom*: para representar estradas existentes;
- *Azul*: para representar cursos d'água, lagos e represas;
- *Vermelhão*: para representar o traçado proposto para a estrada e as cotas dos pontos mais importantes.

Caso a área de interesse já tenha sido objeto de estudos ou mesmo já mapeada através de cartas planialtimétricas geograficamente referenciadas, todo esse procedimento de reconhecimento pode ser eliminado, passando-se a trabalhar diretamente sobre tais cartas, reduzindo assim serviços, tempo e custos do projeto.

O anteprojeto tem por base os desenhos constituídos pela planta do reconhecimento e pelo perfil longitudinal do reconhecimento de cada caminamento, visando a definição do projeto de cada opção de estrada e fazendo-se um cálculo estimativo dos serviços e quantidades. Com estes dados são definidos os custos de construção, de conservação e operação dos diversos traçados, para a análise comparativa e escolha da solução que oferece maiores vantagens. Prepara-se então uma memória descritiva destacando o traçado proposto e uma memória justificativa nas quais são apresentados os critérios de escolha e parâmetros adotados bem como o orçamento. Assim, o anteprojeto do reconhecimento será composto de:

- a. **PLANTA;**

- b. PERFIL LONGITUDINAL;**
- c. ORÇAMENTO;**
- d. MEMÓRIA DESCRITIVA;**
- e. MEMÓRIA JUSTIFICATIVA.**

### **1.3.2 EXPLORAÇÃO**

A exploração é o levantamento de média precisão tendo por base a linha poligonal escolhida na fase de reconhecimento; portanto, é um novo levantamento, de maior detalhamento, buscando condições de melhorar o traçado até então proposto. Para tanto, busca-se definir uma diretriz tão próxima quanto possível imaginar o eixo da futura estrada, resultando daí a ***Linha de Ensaio, Linha Base ou Poligonal da Exploração.***

Semelhante ao reconhecimento, a exploração é subdividida nas seguintes etapas:

- a. LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO;**
- b. LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO LONGITUDINAL;**
- c. LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO TRANSVERSAL;**
- d. DESENHOS.**

### **Medidas de Distâncias**

Para as medidas de distâncias são utilizados distanciômetros, estações totais, trenas de aço ou de lona plastificada, que garantem maior precisão, associado aos cuidados e procedimentos de trabalho. Os pontos de medida são materializados no terreno através de piquetes e estacas numeradas, sendo o ponto inicial identificado por 0=PP, que é lido como "estaca zero PP". Os demais pontos normais devem ser marcados a distâncias constantes, lances de 20 ou 50m, denominados de "estacas inteiras" ou simplesmente "estacas", numerados, sendo que a seqüência estabelece um estaqueamento.

Os pontos de interesse no levantamento, marcados no terreno ou somente medidos, situados entre duas estacas inteiras consecutivas, são identificados pelo número da estaca imediatamente anterior acrescido da distância, em metros, desta estaca até o ponto (exemplo: 257 + 17,86m, que deve ser lido como estaca 257 mais 17,86 metros). Estes pontos são chamados de "*estacas intermediárias*".

Os pontos de mudança de direção dos vértices da poligonal, onde normalmente são instalados os aparelhos de trabalho, são chamados "estaca de mudança ou estaca prego" e o piquete recebe um prego para posicionar com rigor o prumo do aparelho.

### **Medidas de Ângulos**

Os ângulos formados por vértices consecutivos da poligonal devem ser medidos com precisão topográfica, podendo ser medido por Azimute/Rumo ou Deflexão. Vale lembrar que **Azimute** é o ângulo formado pela direção do norte verdadeiro ou magnético até outra direção qualquer no sentido horário, **rumo** é o ângulo medido a partir da direção norte ou sul até a direção qualquer, identificado o correspondente quadrante, e ainda, **deflexão** é o ângulo formado pelo prolongamento de um segmento da poligonal com o alinhamento seguinte, identificado o sentido a direita ou esquerda de medida.

**DESENHOS:** Com base nos levantamentos executados e expressos pelas cadernetas de campo devidamente conferidas passa-se a composição da representação gráfica cujo objetivo é desenhar a planta detalhada da área levantada com a representação do relevo do solo através das curvas de nível, sendo base para o projeto da estrada pretendida.

As escalas normais de desenho a partir desta fase são:

**Horizontal - 1:2000**

**Vertical - 1:200**

**Seção Transversal - 1:100**

O desenho é feito em papel canson ou vegetal, subdividido em pranchas de 0,60 x 0,90m, em disposição conveniente de forma que se unindo as pranchas previamente marcadas, com os devidos cuidados, têm-se a chamada Tripa ou Papagaio, a qual permite uma vista global do projeto. Modo semelhante se faz quando se trabalha em meio digital.

Importância deve ser dada a representação dos ângulos, uma vez que, em função da baixíssima precisão, não se deve construir o ângulo com o auxílio de transferidor; para execução de forma mais precisa é empregado o **PROCESSO DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES** para a representação das **DEFLEXÕES**.

De grande precisão, o **PROCESSO DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES** consiste no cálculo das coordenadas dos vértices através da organização de uma planilha visando maior facilidade e confiabilidade de trabalho. A partir do rumo inicial da poligonal, seus alinhamentos e deflexões e, ainda, considerando um sistema de coordenadas cartesianas onde o eixo Y coincide com a direção Norte, pode-se projetar tais alinhamentos nos eixos ortogonais somando-se tais projeções as coordenadas do ponto anterior para obter-se as coordenadas do ponto seguinte.

Assim, como exemplo, tenhamos um ponto de coordenadas conhecidas, rumo inicial, extensão de um primeiro segmento, deflexão e extensão de um segundo segmento da poligonal (Figura 1.1).

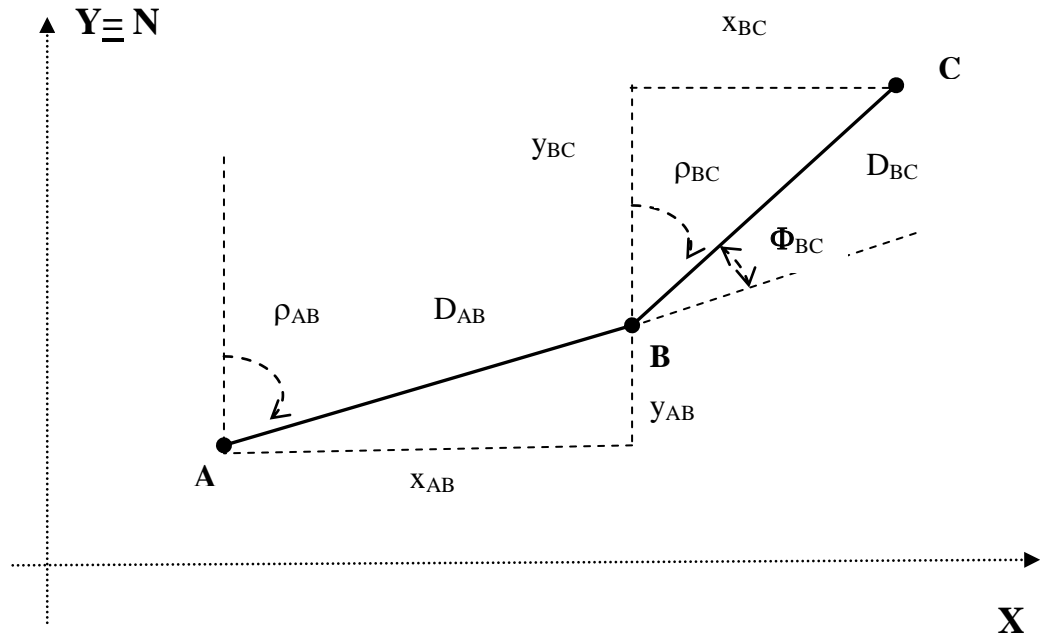


Figura 1.1: Processo das coordenadas dos vértices

Sejam  $X_A$  e  $Y_A$  = coordenadas conhecidas do ponto A;  
 $\rho_{AB}$  = rumo do lado AB;  
 $\Phi_{BC}$  = deflexão entre lado AB e BC;  
 $D_{AB}$  = distância entre A e B;  
 $D_{BC}$  = distância entre B e C.

O rumo  $\rho_{BC}$  é calculado por:  $\rho_{BC} = \rho_{AB} - \Phi_{BC}$

As projeções são calculadas através das seguintes expressões genéricas, considerando-se seus sinais algébricos:

$$x = D * \text{sen}\rho$$

$$y = D * \text{cos}\rho$$

Assim teremos as projeções:

$$x_{AB} = D_{AB} * \text{sen}\rho_{AB} \qquad y_{AB} = D_{AB} * \text{cos}\rho_{AB}$$

$$x_{BC} = D_{BC} * \text{sen}\rho_{BC} \qquad y_{BC} = D_{BC} * \text{cos}\rho_{BC}$$

As coordenadas dos pontos B e C serão:

$$\begin{aligned}X_B &= X_A + x_{AB} \\X_C &= X_B + x_{BC}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_B &= Y_A + y_{AB} \\Y_C &= Y_B + y_{BC}\end{aligned}$$

Quando conhecidas as coordenadas dos pontos, a distância  $D_{AB}$  é estabelecida através da expressão:

$$D_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad \text{ou} \quad D_{AB} = \sqrt{x_{AB}^2 + y_{AB}^2}$$

Marcando-se estas coordenadas graficamente e unindo-as, teremos os alinhamentos e conseqüentemente os ângulos representados de forma bastante precisa.

Ainda nesta fase de desenho, devem ser representados o perfil longitudinal e as seções transversais donde, por interpolação, são determinados os pontos de cota cheia que serão devidamente plotados em planta e que orientarão a confecção das curvas de nível.

Para conclusão do desenho nesta fase, alguns detalhes de acabamento devem ser adotados para melhor apresentação do resultado. Este acabamento consiste em:

- a) Marcar as posições das estacas inteiras e intermediárias e numerar aquelas múltiplas de 10 e indicar com o número constante 5 todas aquelas restantes múltiplas de 5, diferenciando cada situação através da variação do tamanho dos traços indicativos;
- b) Representar os detalhes planimétricos indicados nas cadernetas de campo, tais como divisas legais, cercas, construções, estradas, rios, etc.
- c) Traçar as seções transversais ao alinhamento;
- d) Representar adequadamente as curvas de nível, identificando as cotas de referência.

### 1.3.3 PROJETO DA EXPLORAÇÃO

Com o resultado da exploração tem-se um conhecimento detalhado de toda área por onde se pretende definir o melhor projeto para a futura estrada.

Além das condições do terreno, o projetista precisa ser orientado sob as pretensas condições da estrada, bem como estimativas de custo para comparações; essas condições são expressas pelas características técnicas fixadas para estrada através das instruções de serviço emitidas pelo contratante do projeto.

#### - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



As Características Técnicas constituem um bloco de parâmetros estabelecidos e harmoniosamente combinados, que nortearão todo o projeto e estão definidos em função da **CLASSE DA RODOVIA OU VIA URBANA..**

Esses parâmetros têm por base a conformação do terreno (plano, ondulado, montanhoso), tráfego, velocidade diretriz e características geométricas.

Alguns dos principais elementos intrínsecos à *CLASSE DA VIA* são:

**A. EM PLANTA:**

- Raio mínimo das curvas de concordância horizontal;
- Comprimento das transições;
- Tangente mínima entre curvas reversas.

**B. EM PERFIL:**

- Raio mínimo das curvas de concordância vertical;
- Taxa de declividade máxima;
- Extensão máxima de rampa com declividade máxima;
- Distâncias de visibilidade.

**C. EM SEÇÃO TRANSVERSAL:**

- Abaulamento;
- Largura da pista, acostamentos, refúgios, estacionamentos e calçadas;
- Superlargura e superelevação.

**- EXECUÇÃO DO PROJETO**

Conhecidas as condições através das Instruções de Serviço, passa-se a fase de execução do projeto propriamente dita, definindo-se precisamente o traçado e todos os elementos da via.

É objetivo deste módulo o completo estudo, detalhamento e aplicação desta fase, considerada básica para todo o projeto. Na seqüência retornamos ao detalhamento da **execução do projeto**.

### **1.3.4 LOCAÇÃO**

Concluída a fase anterior, com o projeto totalmente definido, deve-se voltar ao campo e implantar o projeto através da locação de seus pontos, verificando se o que foi previsto e projetado é adequado às expectativas. Todas as ocorrências são devidamente anotadas para novos estudos e convenientes alterações.

### **1.3.5 PROJETO DA LOCAÇÃO**

Consiste nos estudos e alterações visando corrigir todos os problemas identificados através da locação. Praticamente é uma repetição da fase do projeto da exploração com alguns pontos repensados e refeitos, concluindo desta forma todas as fases do projeto geométrico.

### **1.3.6 PROJETO DA EXPLORAÇÃO / EXECUÇÃO DO PROJETO**

#### **DIRETRIZ**

O eixo de uma futura estrada passa a ser definido como DIRETRIZ e é composto por sua Planta, Perfil Longitudinal (Greide) e Seção Transversal (Plataforma).

#### **A. PLANTA**

Até o momento, tratamos de estrada em projeção horizontal (planta) como sendo uma sucessão de trechos retilíneos com deflexões definindo as mudanças de direções, mas, sabemos que não se pode fazer uma estrada só com alinhamentos retos, pois nos vértices da poligonal, os veículos trafegantes teriam grandes dificuldades em mudar de direção. Por isso, os alinhamentos retos são concordados uns aos outros, por meio de curvas de concordância, podendo-se ainda afirmar que a diretriz em planta é composta por uma seqüência de trechos retos intercalados por trechos curvilíneos. Os trechos retos são chamados de Tangentes e os trechos em curva são chamados de Curvas de Concordância Horizontal, que, por sua vez, podem ser diferenciadas em *Curvas Circular e de Transição* (Figura 1.2).

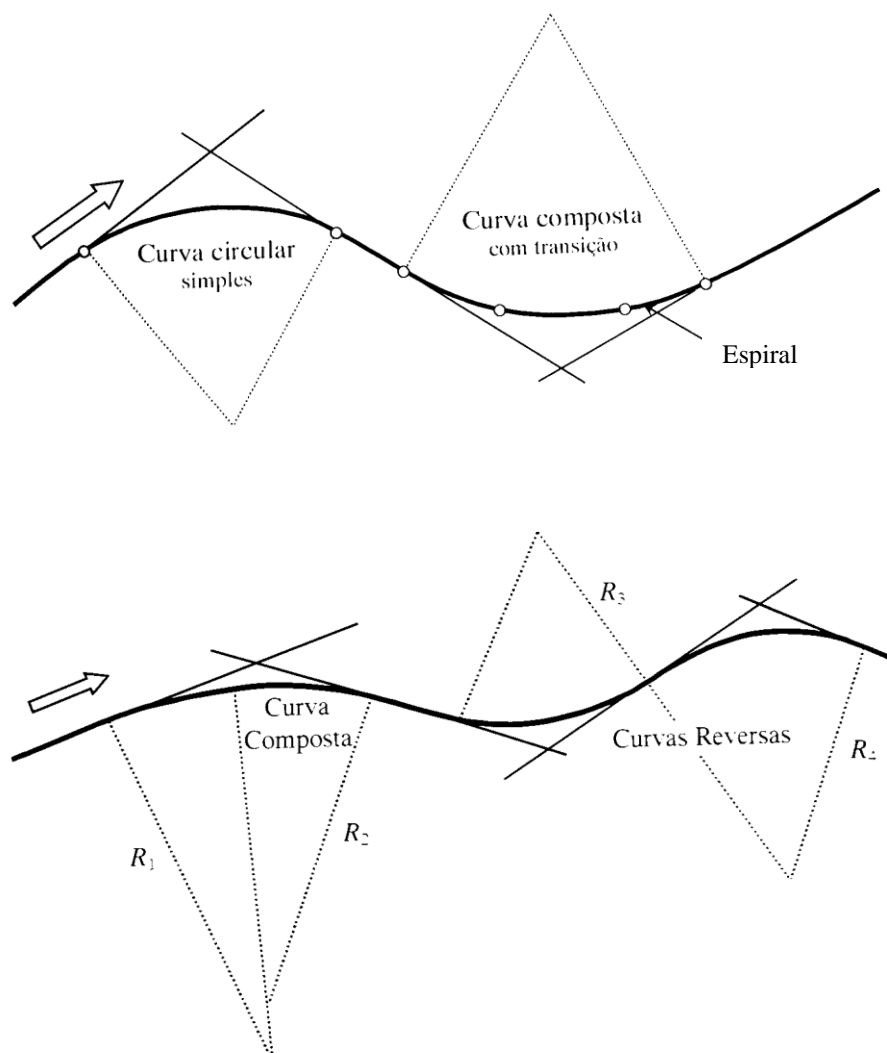


Figura 1.2: Curvas de concordância horizontal

Fonte: Pontes

## B. PERFIL

Com base no perfil do terreno, o eixo da futura estrada é projetado verticalmente e passa a ser representado pelo perfil longitudinal da diretriz ou linha gradiente ou ainda greide como é comumente denominado.

Semelhante a planta, em perfil os trechos retos projetados são concordados por trechos em curvas, tornando as mudanças de inclinações suportáveis, mais suaves e confortáveis, eliminando situações de perigo e danos aos veículos e aos usuários da estrada.

Os trechos retos do greide, em função das suas inclinações, recebem as seguintes identificações:

- **Patamar:** trechos retos em nível;

- **Rampa ou Active:** trechos retos em subida;
- **Contra-rampa ou Declive:** trechos retos em descida.

Os trechos em curva que concordam dois trechos retos são chamados de *Curvas de Concordância Vertical* (Figura 1.3).

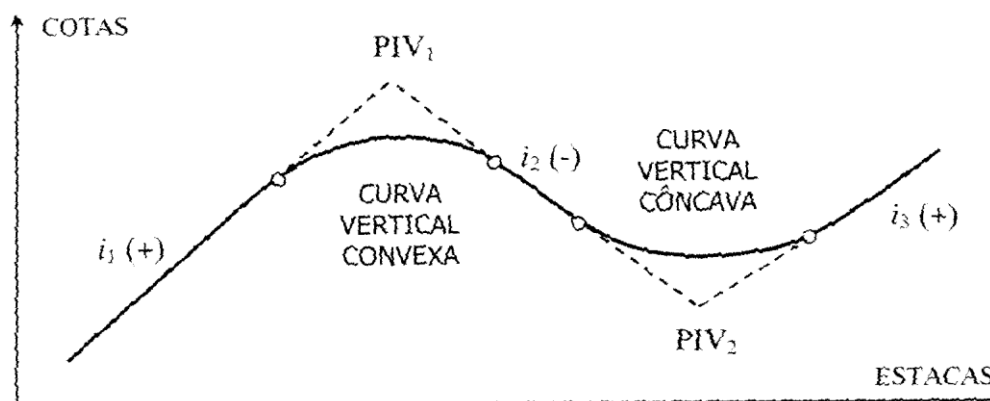


Figura 1.3: Curvas de concordância vertical

Fonte: Pontes

### C. SEÇÃO TRANSVERSAL (PLATAFORMA)

Seção transversal é a representação geométrica, no plano vertical, de alguns elementos dispostos transversalmente em determinado ponto do eixo longitudinal. A seção transversal da via poderá ser em corte, aterro ou mista como ilustrado nas Figuras. 1.4, 1.5, 1.6.

As seções transversais são perpendiculares ao eixo, nas estacas inteiras, e indicam a linha do terreno natural e a seção projetada na escala 1:100, com a indicação das cotas da terraplenagem proposta, a indicação dos taludes, os limites das categorias de terreno, a faixa de domínio (no caso de rodovias), as áreas de corte e aterro, o acabamento lateral da seção para sua adaptação ao terreno adjacente, a largura da plataforma, a largura dos acostamentos, a largura dos estacionamentos, a largura das calçadas e o alinhamento predial (vias urbanas).

Nas rodovias, a inclinação transversal mínima aconselhável de um pavimento asfáltico é 2%, e 1,5% no caso de pavimentos de concreto bem executados, podendo essa inclinação ir até 5% no caso de rodovias com solo estabilizado. O mais freqüente é o uso de pistas com inclinação transversal constante para cada faixa de rolamento e simétricas em relação ao eixo da via.

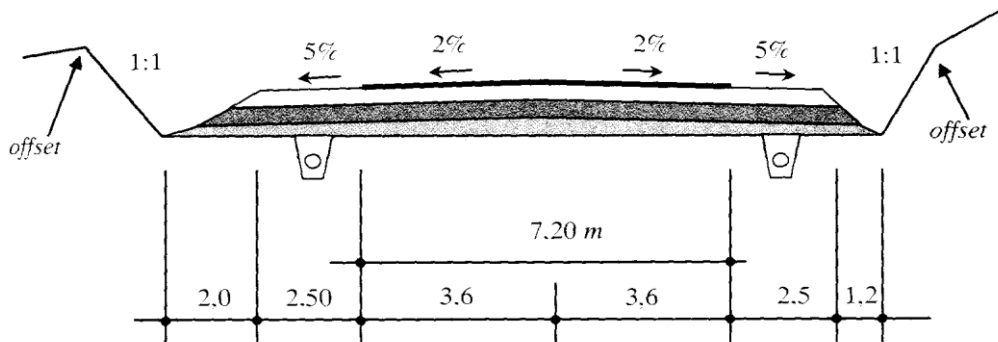


Figura 1.4: Seção transversal em corte

Fonte: Pontes

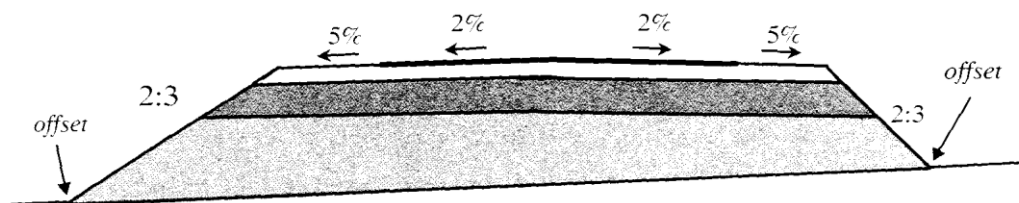


Figura 1.5: Seção transversal em aterro

Fonte: Pontes

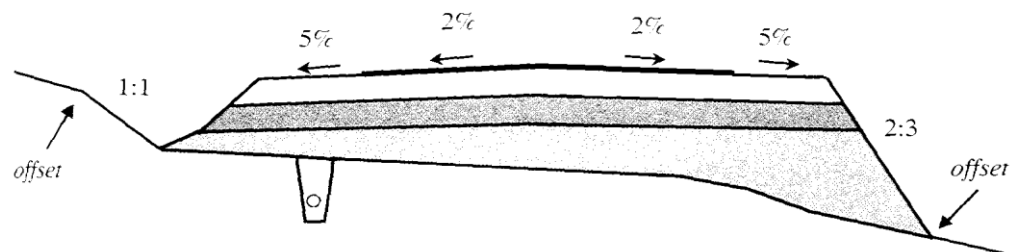


Figura 1.6: Seção transversal mista

Fonte: Pontes

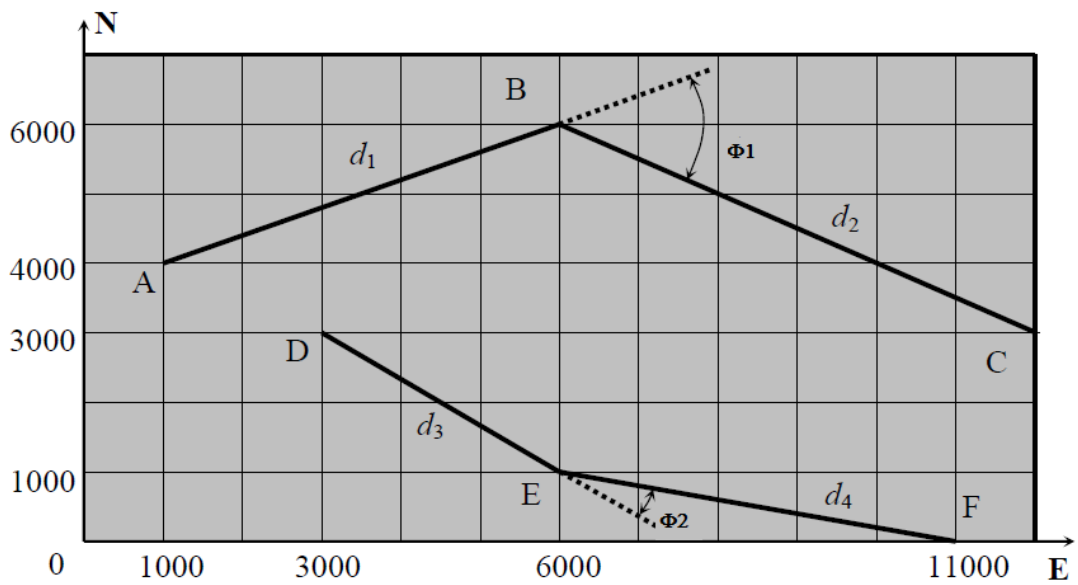
### 1.3.7 ESCOLHA DA DIRETRIZ

A linha de ensaio da exploração deve ser a base para orientação da futura diretriz; o grau de coincidência demonstra a qualidade dos serviços executados até então. Esta linha pode ser considerada como a diretriz numa primeira aproximação.

A definição da diretriz deve harmonizar as condições de planta com as de greide, da melhor forma possível. O greide mais conveniente é aquele que acarreta menor movimento de terra (terraplenagem).

## 1.4 EXERCÍCIOS

**1.4.1 Calcular os comprimentos e os azimutes dos alinhamentos da figura abaixo. Calcular também os ângulos de deflexão.**



**RESPOSTA:**

d1=5385,16m	AzAB=68,20°	
d2=6708,20m	AzBC=116,57°	$\Phi_1=48,37^\circ$
d3=3605,55m	AzDE=123,69°	$\Phi_2=-22,38^\circ$
d4=5099,92m	AzEF=101,31°	

## 2. CURVAS HORIZONTAIS CIRCULARES

Curva Circular é a denominação corriqueira das curvas simples (um segmento de circunferência) de um projeto geométrico de rodovias e vias urbanas que tecnicamente são nominadas de *CURVA CIRCULAR DE CONCORDÂNCIA HORIZONTAL* ou *CURVA CIRCULAR HORIZONTAL DE CONCORDÂNCIA*

## 2.1 INTRODUÇÃO - ESCOLHA DA CURVA

A Diretriz definida até então, é composta por trechos retos consecutivos chamados de tangentes; estas tangentes devem ser melhor concordadas através de curvas, visando dar suavidade ao traçado. A escolha da curva que mais se ajusta as tangentes é feita por análise visual e tentativa.

Para estabelecer o valor aproximado do raio da curva, utilizam-se GABARITOS que, na escala adotada, representam trechos de curvas circulares de raios diversos. São construídos de celulóide, madeira, papelão, plástico (como um jogo de réguas curvas) ou desenhadas em papel vegetal (círculos concêntricos ajustados por sobreposição).

A escolha é feita colocando-se os gabaritos sobre a planta de tal forma que as curvas tangenciem os alinhamentos a concordar. Verificado, em cada interseção, qual o raio de curva que melhor atende aos objetivos do projeto, fica concluída a operação de fixação do **raio da curva**.

## 2.2 PONTOS E ELEMENTOS DA CURVA CIRCULAR

Percorrendo-se o traçado da curva no sentido crescente do estaqueamento, os pontos e elementos de uma curva circular podem ser definidos e codificados conforme segue:

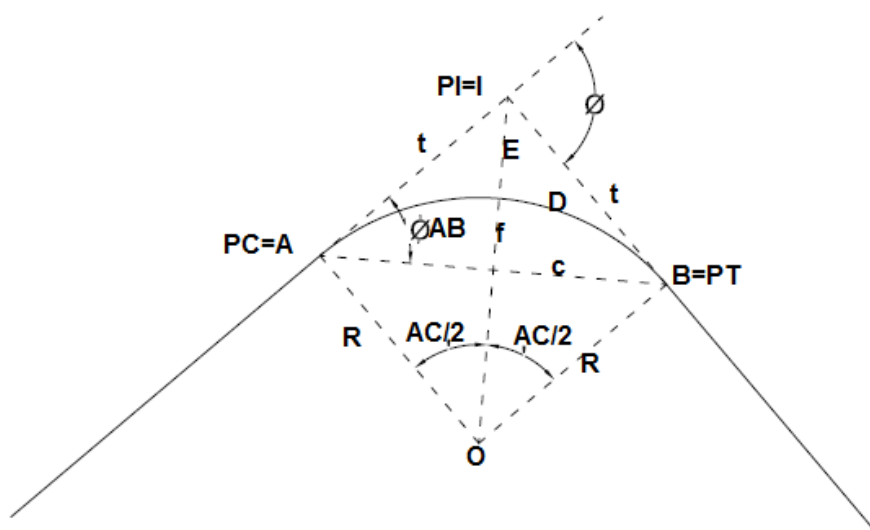


Figura 2.1-a: Elementos de curva horizontal circular

Fonte: Pontes

**PC = Ponto de Curva.** É o ponto de contato entre o fim da tangente e o começo da curva circular. Ponto inicial da curva.

**PCD = Ponto de Curva a Direita.** É o ponto de curva identificando que o desenvolvimento se dá a direita da tangente.

**PCE = Ponto de Curva a Esquerda.** É o ponto de curva identificando que o desenvolvimento se dá a esquerda da tangente.

**PT = Ponto de Tangente.** É o ponto de contato entre o fim da curva circular e o começo da tangente seguinte. Ponto final da curva.

**PCC = Ponto de Curva Composta.** É o ponto de contato de duas curvas circulares de mesmo sentido, quando o fim de uma curva coincide com o início da curva seguinte (*curvas coladas*).

**PCR = Ponto de Curva Reversa.** É o ponto de contato de duas curvas circulares de sentidos opostos, quando o fim de uma curva coincide com o início da curva seguinte (*curvas coladas*).

**PI = Ponto de Interseção.** É o ponto onde se interceptam as tangentes que serão concordadas pela curva.

**$\emptyset$  = Deflexão.** É o ângulo formado pelo prolongamento de um alinhamento e o alinhamento seguinte, com orientação do sentido direito ou esquerdo de medida.

**T = Tangentes Externas.** São os segmentos retos das tangentes originais, compreendidos entre o PC e o PI ou também entre o PT e o PI.

**C = Corda.** É a distância, em reta, entre o PC e o PT.

**cb = Corda Base.** É uma corda de comprimento pré-estabelecido, podendo ser 50, 20, 10 ou 5m dependendo do raio da curva, que corresponde a subdivisões iguais da curva, aproximando-se do arco. Na prática confundem-se corda base e arco correspondente.

**D = Desenvolvimento.** É o comprimento do arco da curva de concordância, do ponto PC ao ponto PT, medido em função da corda base adotada e suas frações.

**E = Afastamento.** É a distância entre o PI e a curva, medida sobre a reta que une o PI ao centro da curva.

**f = Flecha.** É a distância entre o ponto médio do arco de curva e a sua corda, medida sobre a reta que une o PI ao centro da curva; é a maior distância radial entre arco e corda.

**R = Raio da Curva.** É a distância do centro da curva ao ponto PC ou PT.

**AC = Ângulo Central.** É o ângulo formado pelos raios que passam pelos extremos do arco da curva, ou seja, pelos pontos PC e PT.

**$\emptyset_c$  = Deflexão da Corda.** É o ângulo formado pelo primeiro alinhamento reto e a corda da curva circular.

**$\emptyset_{cb}$  = Deflexão da Corda Base.** É a deflexão da corda base adotada em relação a primeira tangente ou a qualquer tangente à curva, no ponto de início da corda; pode-se ter deflexão para corda base de 50, 20, 10 ou 5m conforme o caso.

**$\emptyset_m$  = Deflexão por metro.** É a deflexão de uma corda de 1,00m em relação a primeira ou qualquer outra tangente a curva, no ponto de início da corda.

**G = Grau da Curva.** É o ângulo central formado pelos raios que passam pelos extremos da corda base adotada.



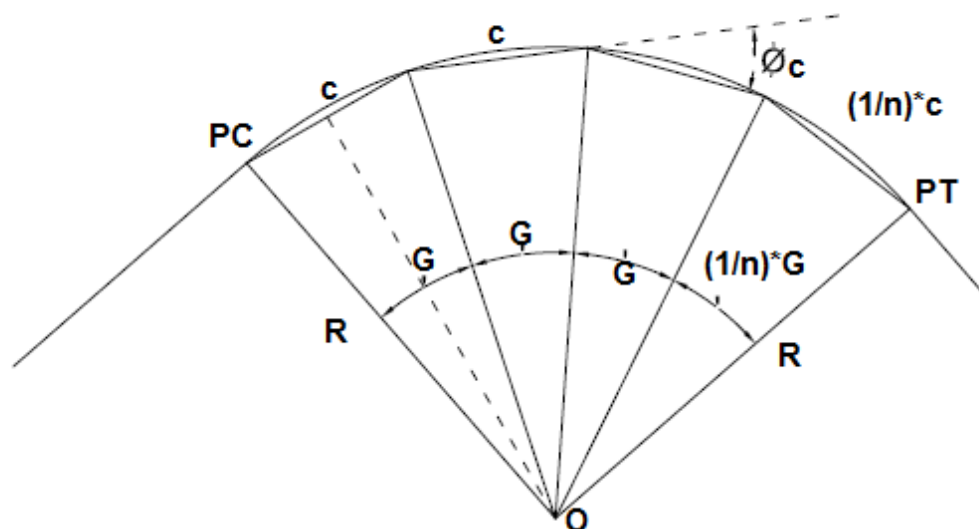


Figura 2.1-b: Elementos de curva horizontal circular  
Fonte: Pontes

## 2.3 CÁLCULO DOS ELEMENTOS DAS CURVAS CIRCULARES

### 2.3.1 DEFLEXÃO E ÂNGULO CENTRAL

Quando dois alinhamentos retos da diretriz projetada coincidem exatamente com dois alinhamentos retos da exploração, não há necessidade de cálculo da deflexão, pois já foi determinado e permanece o mesmo ângulo da fase de exploração. Quando isto não acontece, faz-se necessário o cálculo preciso da deflexão, o que não é possível pela simples leitura de transferidor devido a grande margem de erro que acarretaria. Neste caso a deflexão pode ser calculada pelos seguintes processos:

#### A) 1º PROCESSO: "COORDENADAS DOS VÉRTICES"

Utilizando o processo já descrito, porém aplicado no sentido inverso, ou seja, antes tínhamos o ângulo e queríamos desenhá-lo e agora temos o desenho e queremos determinar o ângulo.

#### B) 2º PROCESSO: "DO SENO"

Tendo-se dois alinhamentos, com o compasso centrado no PI e abertura qualquer, marca-se a interseção do arco de circunferência com o prolongamento do primeiro alinhamento e com o segundo alinhamento, obtendo-se os pontos P e Q; mede-se a distância PQ ( $d$ ) e a medida ( $a$ ) do PI ao ponto P ou Q, as quais são lidas diretamente na régua, independente de escala. O cálculo é feito através da seguinte fórmula:

$$\phi = 2.\arcsen\left(\frac{d/2}{a}\right) \quad (a = \text{abertura do compasso})$$

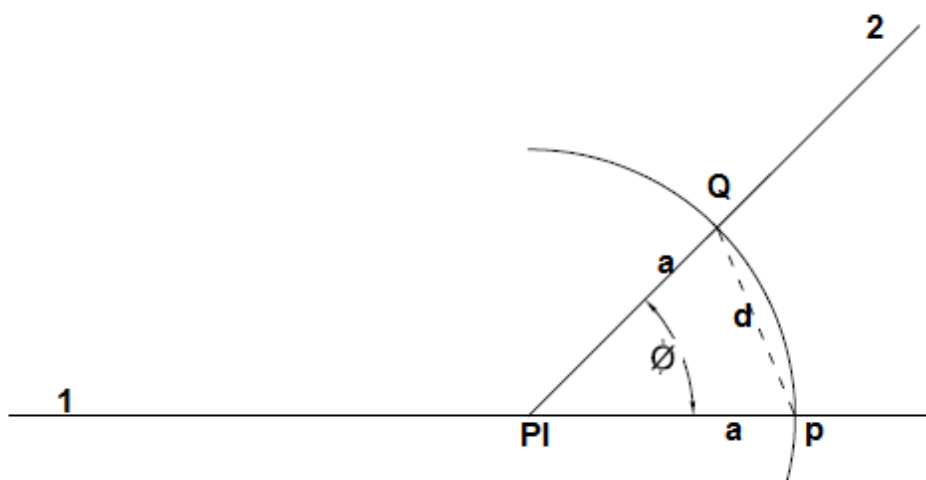


Figura 2.2: Processo do seno

Fonte: Pontes

Definida a deflexão temos o ângulo central conhecido, pois  $AC = \phi$  por razões construtivas, ou seja, tendo-se duas retas convergentes e traçando-se duas normais a essas retas, os ângulos formados pelas duas retas e por suas normais são iguais.

### 2.3.2 GRAU E RAIOS DA CURVA

- a. GRAU DA CURVA  $G = 2.\arcsen\left(\frac{cb/2}{R}\right)$  (em graus)
- b. RAIOS  $R = \frac{cb/2}{\text{sen}(G/2)}$  (em metros)

### 2.3.3 DEFLEXÕES

- a. DEFLEXÃO DA CORDA  $\phi_c = \frac{AC}{2}$  (em graus)
- b. DEFLEXÃO DA CORDA BASE  $\phi_{cb} = \frac{G}{2}$  (em graus)
- c. DEFLEXÃO POR METRO  $\phi_m = \frac{G}{2.cb}$  (em graus)

**Obs:** Para a **corda base (cb)**=20,00m temos a **deflexão por metro ( $\phi_m$ )**= $G / 40$ ; se fizermos  $G$  múltiplo de 40', a deflexão por metro terá precisão de 1'. Assim, ajustando-se  $G$ , podemos escolher a precisão da deflexão por metro ( $\phi_m$ ).

### 2.3.4 OUTROS ELEMENTOS

- |    |                    |   |
|----|--------------------|---|
| a. | TANGENTES EXTERNAS | $T = R.tg \frac{AC}{2}$ (em metros)                             |
| b. | AFASTAMENTO        | $E = R\left(\frac{1}{\cos \frac{AC}{2}} - 1\right)$ (em metros) |
| c. | FLECHA             | $f = R\left(1 - \cos \frac{AC}{2}\right)$ (em metros)           |
| d. | DESENVOLVIMENTO    | $D = \frac{\pi.R.AC}{180}$ (em metros)                          |

## 2.4 SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS PARA PROJETO

### A - DETERMINAÇÃO DO RAI0

Como foi citado anteriormente, utilizando-se de gabaritos (celulóide, madeira, plástico ou papel vegetal), procura-se o raio de curva mais conveniente para concordar os alinhamentos retos considerados, tendo em vista, além da configuração do terreno e visibilidade, o raio mínimo fixado para o projeto em questão.

### B - DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO CENTRAL

Por construção, o ângulo central é igual a deflexão entre os alinhamentos que compõem a diretriz. (**AC =  $\phi$** ).

A deflexão das tangentes não pode ser simplesmente medida com o auxílio de um transferidor; deve ser calculada através do processo das Coordenadas dos Vértices ou processo do Seno.

### C - CÁLCULO DOS DEMAIS ELEMENTOS

A partir do grau da curva, raio escolhido e do ângulo central devidamente conhecido, passamos ao cálculo dos demais elementos,

aplicando-se basicamente as expressões correspondentes, permitindo assim a determinação das deflexões (da corda, da corda base e por metro), tangentes externas, desenvolvimento, afastamento e flecha.

## 2.5 CÁLCULO DO ESTAQUEAMENTO

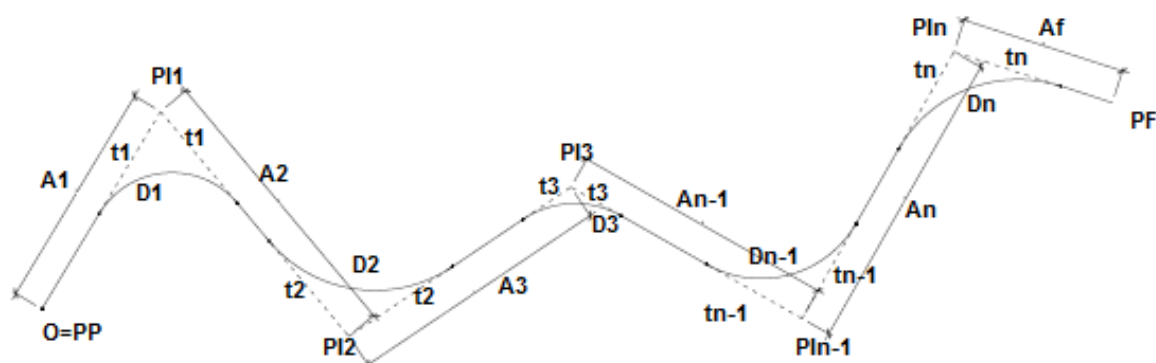
Depois de calculados todos os principais elementos das curvas do projeto, passa-se a definição das estacas dos PCs e PTs. Esta definição é muito importante e necessária tanto para fase de projeto quanto a locação, servindo inicialmente para verificar e corrigir a marcação em projeto e no campo, sendo permanente referencial de localização dos pontos de trabalho.

Os pontos PCs e PTs podem ser calculados todos em distância continua e posteriormente transformados em estacas pela simples divisão por 50 ou 20 (função da trena) considerando o saldo como fração da estaca em metros; também pode-se calcular estaca de cada ponto a medida que vão sendo estabelecidos.

Os elementos básicos para o estaqueamento são os seguintes:

- Distância entre  $O=PP$  e  $PI_1$ , e entre  $PI$ s consecutivos, obtidas da planta projetada;
- Comprimento das tangentes externas;
- Comprimento dos desenvolvimentos das curvas.

CURVA	DIST. $PI$ s	TANG.	DESENV.
$C_1$	$O=PP$ a $PI_1$	$T_1$	$D_1$
$C_2$	$PI_1$ a $PI_2$	$T_2$	$D_2$
$C_3$	$PI_2$ a $PI_3$	$T_3$	$D_3$
...	...	...	...
$C_n$	$PI_{n-1}$ a $PI_n$	$T_n$	$D_n$



Observando-se a Figura 2.3 a seguir, é fácil constatar como se obtém, por deduções lógicas, os diversos valores procurados.

Figura 2.3: Estaqueamento

Fonte: Pontes

Na prática, é mais comum, e até aconselhável, a redução de todos os comprimentos em número de estacas correspondentes, facilitando assim os cálculos e a verificação de possíveis erros cometidos.

É possível a dedução de fórmulas genéricas para a determinação do estaqueamento, expressadas a seguir, mas particularmente desaconselhamos seu emprego uma vez que, sabendo-se com clareza o que se deseja, é mais fácil deduzir-se, caso a caso, a melhor forma de calcular os elementos (considerando estacas de 20m).

$$PC_1 = (A_1 / 20) - (T_1 / 20)$$

$$PT_1 = PC_1 + (D_1 / 20)$$

$$PC_2 = PT_1 + (A_2 / 20) - (T_1 + T_2) / 20$$

$$PT_2 = PC_2 + (D_2 / 20)$$

$$PC_3 = PT_2 + (A_3 / 20) - (T_2 + T_3) / 20$$

$$PT_3 = PC_3 + (D_3 / 20)$$

$$PC_n = PT_{n-1} + (A_n / 20) - (T_{n-1} + T_n) / 20 \quad PT_n = PC_n + (D_n / 20)$$

## 2.6 DESENHO

Efetuados todos os ajustes e cálculos, passa-se ao desenho definitivo da diretriz, intercalando curvas de concordância entre as tangentes de forma a dar a real configuração do traçado da futura estrada.

Graficamente, conhecemos a posição do ponto PI, a partir do qual marcamos na escala conveniente o comprimento da tangente externa, assinalando assim a posição dos pontos PC e PT. Pelos pontos PC e PT levantam-se normais as tangentes; o encontro dessas normais será o centro da curva. Com o compasso centrado neste último ponto, abertura igual ao comprimento do raio, desenha-se o arco de curva de concordância limitado pelos pontos PC e PT. Para o desenho da curva, também são utilizados os gabaritos, principalmente em situações em que o raio é muito grande, sendo impraticável desenhar com compasso, bem como nos casos onde o centro da curva cai fora da folha de desenho.

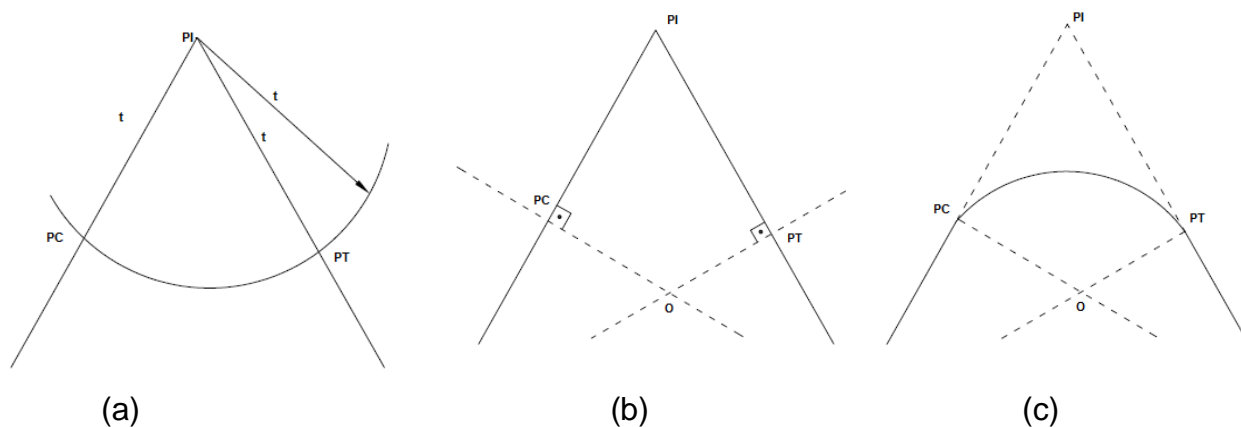


Figura 2.4: Desenho de curva circular

Fonte: Pontes

Desenhadas todas as curvas, passa-se a marcação do estaqueamento da linha através de mínimos traços transversais, correspondentes as estacas. Estes traços, marcados somente no lado esquerdo da linha, guardam uma relação de tamanho, podendo-se adotar 2mm para estacas quaisquer, 3,5mm para estacas múltiplas de 5 e ainda 5mm para estacas múltiplas de 10.

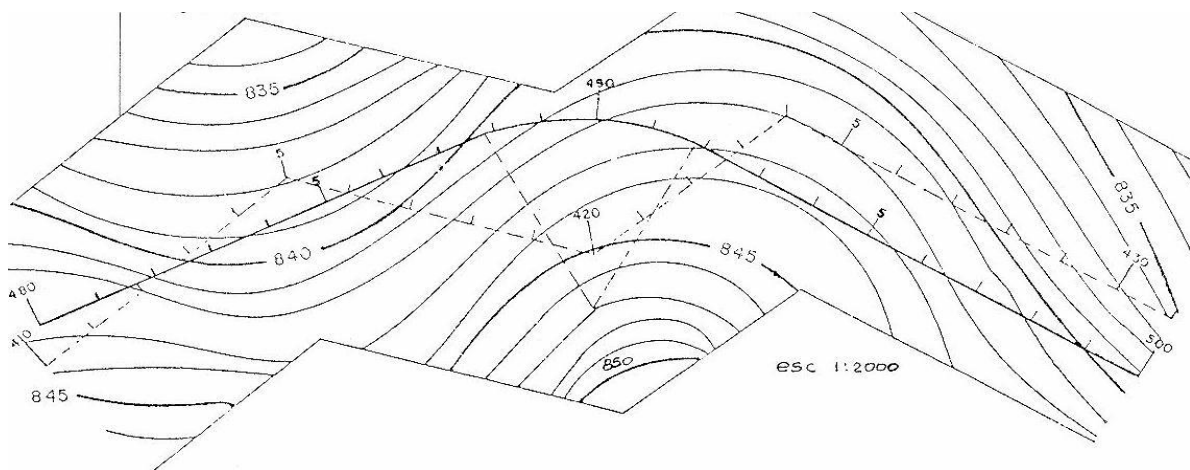


Figura 2.5: Marcação do estaqueamento

Fonte: Pontes

As estacas são marcadas com auxílio de uma régua de boa precisão, inclusive nas curvas onde se devem fazer os ajustes necessários; as estacas dos PCs e do PTs calculadas servirão de base para verificação da exatidão do estaqueamento.

Marcadas todas as estacas inclusive dentro das curvas, passa-se a identificar a numeração correspondente, escrevendo-se O=PP na inicial, apenas o número 5 nas estacas múltiplas de 5 e o número das estacas múltiplas de 10; além dessas estacas, nos PCs e PTs devem ser escritos as estacas com a parte fracionária. Em seguida recobre-se a diretriz com tinta vermelha, bem como a marcação do estaqueamento. Marca-se em tinta preta os PIs. Apagam-se as tangentes externas e demais elementos auxiliares.

Para maior comodidade, o processo de desenho acima descrito pode ser substituído pela aplicação do software **AUTOCAD** ou similar.

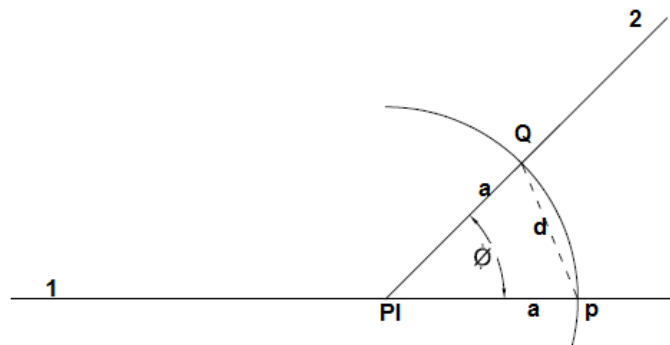
## 2.7 LOCAÇÃO

A fase seguinte do projeto seria a locação do traçado projetado, ou seja, sua implantação em campo. Os processos de locação serão vistos detalhadamente na sequência, após o estudo das curvas de concordância horizontal de transição, ocasião em que será possível um entendimento mais abrangente da **LOCAÇÃO**.

## 2.8 EXERCÍCIOS

**2.8.1** - Calcular os elementos de uma curva circular a ser projetada acordando os dois alinhamentos representados abaixo, considerando:

- 1) raio escolhido = 875,000m
- 2) corda base = 20,000m
- 3)  $a = 0,170\text{m}$
- 4)  $d = 0,186\text{m}$



**RESPOSTA:**

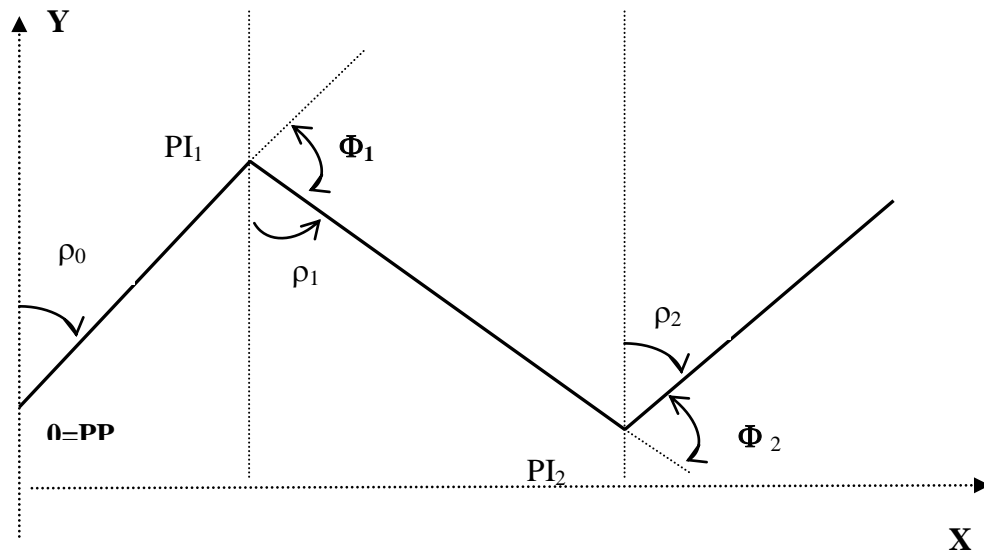
$\Phi = 66^{\circ}19'51'' = AC$	$\Phi_m = 0^{\circ}01'57''$
$G = 1^{\circ}18'34''$	$E = 170,282 \text{ m}$
$\Phi_c = 33^{\circ}09'55''$	$f = 142,542 \text{ m}$
$T = 571,830 \text{ m}$	$D = 1.012,982 \text{ m}$
$\Phi_{cb} = 0^{\circ}39'17''$	

**2.8.2** - Calcular os elementos de uma curva circular a ser projetada em  $PI_1$ , concordando os dois alinhamentos definidos pelas coordenadas do ponto  $O=PP$  e  $PI_1$ , considerando:

- 1) raio escolhido = 682,000m
- 2) corda base = 10,000m.

3) coordenadas dos PI's:

PONTOS	ORDENADA X	ORDENADA Y
0=PP	365.778,000m	3.488.933,000m
PI1	366.778,000m	3.490.216,000m
PI2	367.778,000m	3.488.207,000m



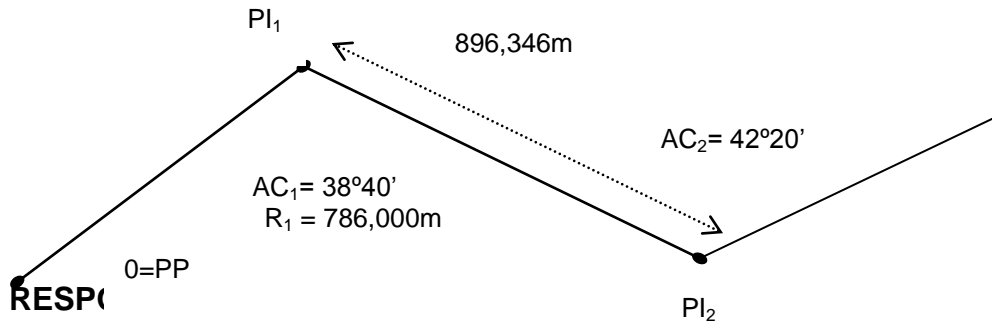
RESPOSTA:

$D_{01} = 1.626,680 \text{ m}$	$\Phi_1 = 115^\circ 36' 14'' = AC_1$
$\Phi_m = 0^\circ 02' 31''$	$T_1 = 1.083,079 \text{ m}$
$D_{12} = 2.244,121 \text{ m}$	$G_1 = 0^\circ 50' 24''$
$\rho_0 = 37^\circ 56' 02'' \text{ NE}$	$\Phi_C = 57^\circ 48' 07''$
$\rho_1 = 26^\circ 27' 44'' \text{ SE}$	$\Phi_{cb} = 0^\circ 25' 12''$
$E_1 = 597,916 \text{ m}$	$f_1 = 318,598 \text{ m}$
$D_1 = 1.376,053 \text{ m}$	$PC_1 = 27\text{est} + 3,601\text{m}$
	$PT_1 = 95\text{est} + 19,654\text{m}$

**2.8.3 -** Com base na curva 1 estabelecida, calcular o **raio da curva circular 2 ( $R_2$ )** de forma que a tangente resultante entre  $PT_1$  e  $PC_2$  seja igual a  $200,000\text{m}$ . Considerar corda base e estaqueamento de  $20,000\text{m}$  e os seguintes elementos:

- 1) CURVA 1:  $AC_1 = 38^\circ 40'$   $R_1 = 786,000\text{m}$
- 2) DISTÂNCIA  $PI_1$  ao  $PI_2 = 896,346\text{m}$
- 3) CURVA 2:  $AC_2 = 42^\circ 20'$





	Verificação
$T_1 = 275,767 \text{ m}$	$T_2 = 420,579 \text{ m}$
$T_2 = 420,579 \text{ m}$	$T_e = 200,000 \text{ m}$
$R_2 = 1.086,192 \text{ m}$	

**2.8.4** - Calcular o raio da curva de concordância horizontal abaixo esquematizada, a partir das seguintes informações:

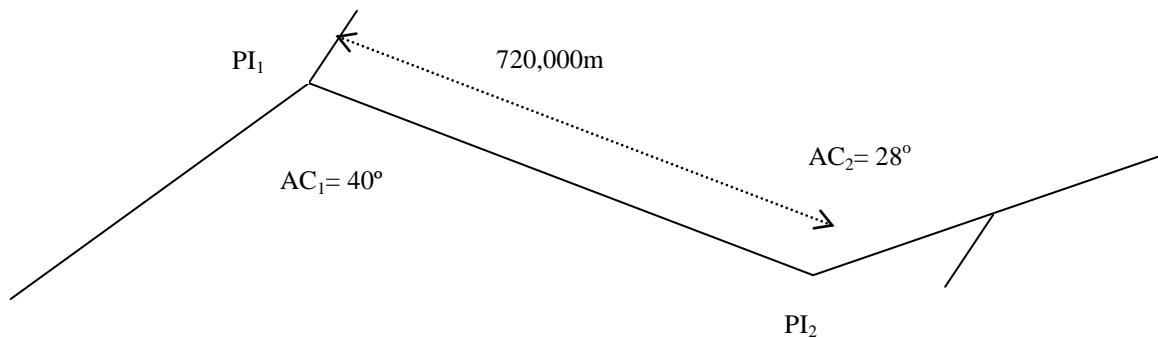
- 1) Estaca 0=PP com rumo inicial de  $60^\circ 00'$
- 2) Distância 0=PP ao  $PI_1 = 343,400\text{m}$
- 3) Deflexão do  $PI_1 = 18^\circ 30'$
- 4) Distância do  $PI_1$  ao início da ponte =  $122,400\text{m}$
- 5) O ponto final da curva (**PT**) deverá estar a no mínimo a  $10,000$  metros do início da ponte.
- 6) Existência de obstáculo no lado interno da curva, condicionando o afastamento (E) da curva em relação ao  $PI_1$  a um valor superior a  $8,500$  metros.

**RESPOSTA:**

$$645,160\text{m} < R \leq 690,160\text{m}$$

**2.8.5** - Em um traçado com curvas horizontais circulares, conforme o esquema a seguir, desejando-se que os **dois raios sejam iguais** pergunta-se:

- 1) Qual o maior raio possível?
- 2) Qual o maior raio que conseguiremos usar, deixando uma tangente de  $80$  metros entre as curvas?



**RESPOSTA:**

1ª condição: PT1=PC2 R= 1173,980m
2ª condição: PC2 = PT1 + 80,000m R= 1043,540m

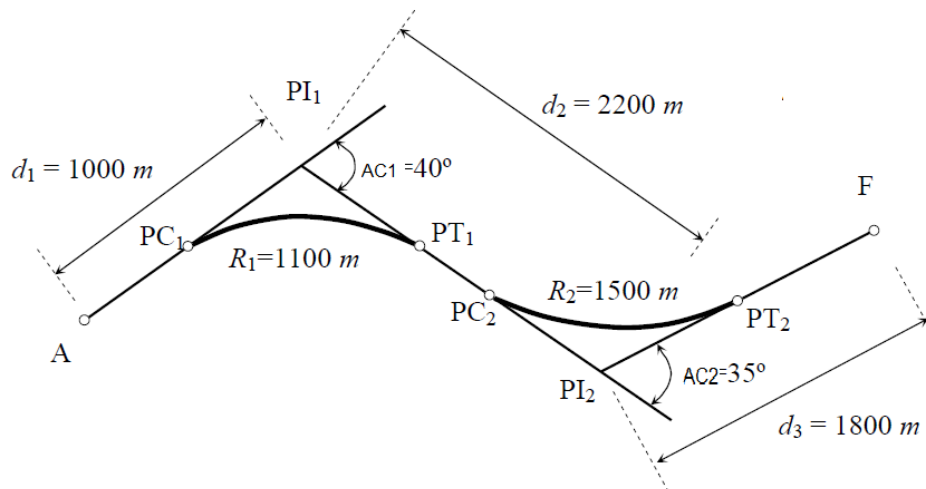
**2.8.6** - Partindo de uma seqüência de alinhamentos concordados por correspondentes curvas circulares cujos elementos são apresentados a seguir, determinar o estaqueamento (pontos principais) da diretriz em questão, considerando estaqueamento de 20,00m em 20,00m.

ALINHAMENTOS	DESENVOLVIMENTO. DA CURVA	TANGENTE
A <sub>1</sub> ⇒ 0=PP a PI1 = 1.840,00m	D <sub>1</sub> = 202,21m	T <sub>1</sub> = 111,79m
A <sub>2</sub> ⇒ PI1 a PI2 = 780,00m	D <sub>2</sub> = 188,64m	T <sub>2</sub> = 102,46m
A <sub>3</sub> ⇒ PI2 a PI3 = 660,00m	D <sub>3</sub> = 97,43m	T <sub>3</sub> = 67,35m
A <sub>4</sub> ⇒ PI3 a PF = 478,00m		

**RESPOSTA:**

PC1 = 86est + 8,21m	PC3 = 158est + 15,00m
PT1 = 96est + 10,42m	PT3 = 163est + 12,43m
PC2 = 124est + 16,17m	PF = 184est + 3,08m
PT2 = 134est + 4,81m	

**2.8.7** A figura mostra a planta de um traçado com duas curvas circulares. Calcular as estacas dos pontos notáveis das curvas (PC, PI ePV) e a estaca inicial do traçado, sabendo que a estaca do ponto F é 540est + 15,00.



**RESPOSTA:**

PC1 = 323est + 17,2m	PT2 = 474est + 7,95m
PT1 = 362est + 4,97m	PI2 = 452est + 4,60m
PI1 = 343est + 17,39m	0=PP=A =293est + 17,39m
PC2 = 428est + 11,65m	

### 3. CURVAS HORIZONTAIS DE TRANSIÇÃO

Curva de Transição é a denominação corriqueira das curvas compostas (um segmento de circunferência intercalando dois segmentos de outra curva pré-escolhida) de um projeto geométrico de rodovias e que tecnicamente são denominadas de *CURVA DE TRANSIÇÃO DE CONCORDÂNCIA HORIZONTAL* ou *CURVA DE TRANSIÇÃO HORIZONTAL DE CONCORDÂNCIA*.

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Quando um veículo entra numa curva, dá origem a uma força centrífuga cuja intensidade é diretamente proporcional ao peso do veículo e ao quadrado da velocidade, e inversamente proporcional ao raio da curva, ou seja:

$$F = m \cdot v^2 / R$$

Esta força tende a impelir o veículo para fora da curva e, considerando a configuração da seção da pista de rolamento em tangente ser inclinada do centro para os bordos (de 1 a 3% conforme o tipo de pavimento), esta ação física poderia levar o veículo a duas situações indesejáveis: deslizamento (derrapagem) e tombamento (capotamento). É premissa de um projeto de engenharia a eliminação de quaisquer riscos previsíveis.

Visando contrabalançar a ação da força centrífuga e assim evitando o deslizamento ou tombamento, estabeleceu-se a formação de uma inclinação no bordo externo da pista, concordando com o outro bordo, provocando assim a ação de uma força centrípeta (de sentido contrário), de modo a estabelecer o equilíbrio de forças. Essa inclinação é denominada de *SUPERELEVÇÃO* e será objeto de estudo na seqüência do programa.

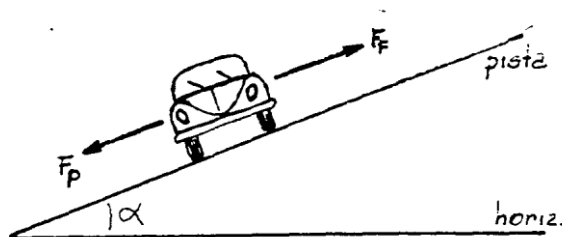


Figura 3.1: Forças atuantes sobre um veículo em trajetória curvilínea

Fonte: Pontes

Imaginando a aplicação da superelevação (incremento da inclinação da pista) nas curvas circulares, teríamos a formação de um degrau ou a brusca passagem da tangente para a curva (no PC), o que é impraticável. Também não é possível fazer uma gradual e suave alteração da inclinação dentro da curva circular uma vez que a força centrífuga passa a agir logo após o PC com intensidade máxima e igual a exercida em todo o restante da curva.

Para corrigir essa deficiência das curvas circulares de pequeno raio, foram introduzidas na Engenharia de Rodovias e Ferrovias as CURVAS DE TRANSIÇÃO, onde são criadas curvas intermediárias concordando tangente e curva circular de modo a garantir o desenvolvimento gradual da força centrífuga, de seu valor nulo em tangente até atingir seu valor máximo no início da curva circular acomodando a variação da superelevação em perfeito equilíbrio geométrico.

As curvas de transição são arcos de curvas de raio variável, de valor infinito na tangente até valor igual ao raio da própria curva circular; este ponto, onde os raios da curva de transição e circular são iguais, denominamos de *PONTO OSCULADOR*.

Muitas curvas de possível definição matemática e de semelhante efeito prático poderiam ser adaptadas ao estudo das curvas de transição, destacando-se:

*RADIÓIDE AOS ARCOS, CLOTÓIDE ou **ESPIRAL DE CORNU***: tem a forma espiralada, com características diferentes das espirais de Arquimedes, logarítmica, hiperbólica, etc. É conhecida indevidamente como espiral de Van Leber, por ter sido este engenheiro holandês o primeiro a usá-la em ferrovias. É a mais utilizada no Brasil e nos Estados Unidos.

*RADIÓIDE ÀS CORDAS ou LEMINISCATA DE BERNOUILLE*: tem aplicação na Inglaterra e Itália; de difícil locação.

*RADIÓIDE AS ABCISSAS ou CURVA ELÁSTICA*: tem pouca aplicação por ser de difícil locação.

*PARÁBOLA CÚBICA*: as normas federais para ferrovias prevêem seu uso, mas, por ser locada por coordenadas e não ter desenvolvimento suficiente para distribuição de toda superelevação, não tem sido empregada em larga escala.

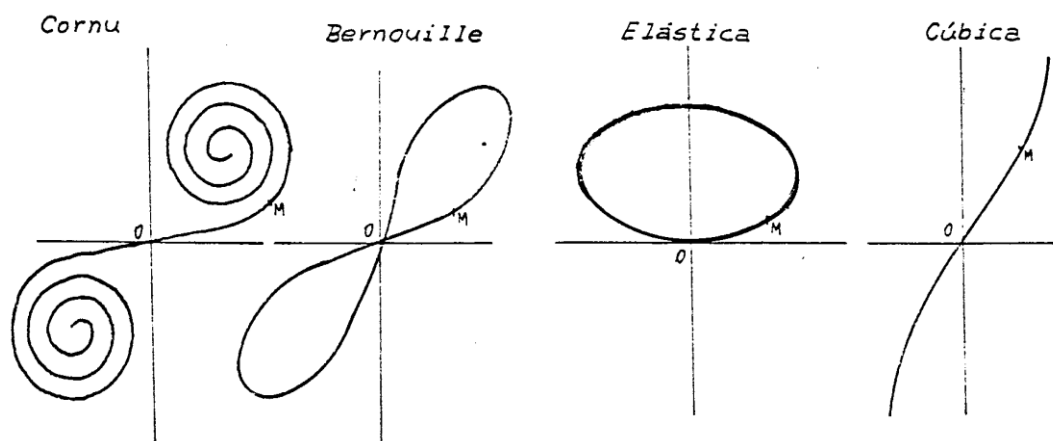


Figura 3.2: Tipos de curvas de transição

Fonte: Pontes

Alguns países como a Alemanha, adotam para curva de transição em rodovias segmento de uma outra curva circular, cujo raio é igual ao dobro do raio da curva primitiva.

Na prática, a aplicabilidade da curva de concordância de transição é limitada a adoção de raios pequenos, ou seja, menores que **614,250m**. Raios maiores devem contemplar curvas de concordância circular.

## 3.2 FORMAS DE IMPLANTAÇÃO DA TRANSIÇÃO

Para introdução de um ramo de espiral entre a tangente e a curva circular, alguma acomodação deve ocorrer visando atender a nova configuração da curva, podendo apresentar-se nas três formas seguintes:

- 1º caso: **RAIO** conservado;
- 2º caso: **CENTRO** conservado;
- 3º caso: **RAIO** e **CENTRO** conservados.

No 1º caso é mantida a curva circular base, portanto o **RAIO** é mantido constante, mas o centro da curva é deslocado (recuado) de forma a permitir a intercalação dos ramos da transição.

No 2º caso o **CENTRO** é mantido e o raio devidamente alterado, atingindo-se o mesmo objetivo.

O 3º caso, adotado somente em situações excepcionais (deflexões maiores que  $130^\circ$ , pêras e reversões), consiste no deslocamento das tangentes paralelamente as posições originais, mantendo o **CENTRO** e o **RAIO**. Somente aplicável quando não se pode evitar um ponto obrigatório de passagem situado sobre a curva original.

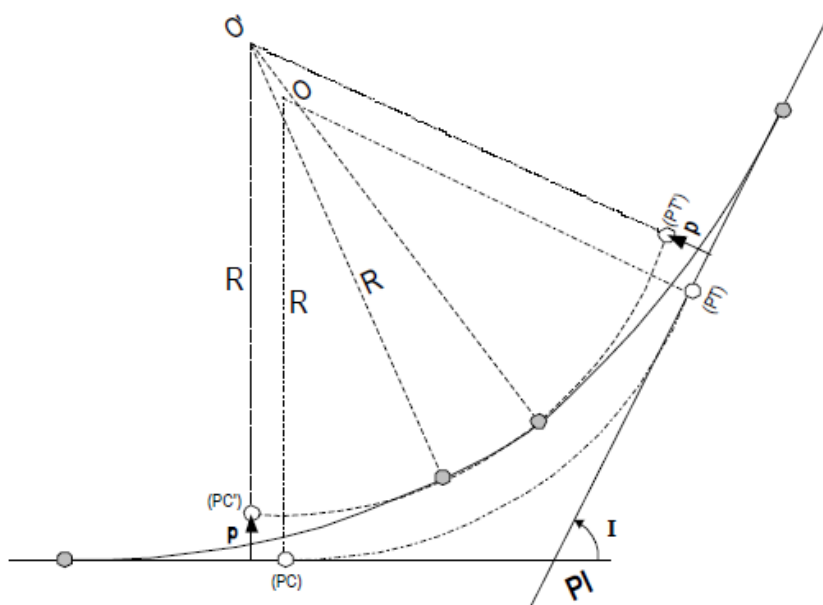


Figura 3.3: Raio conservado  
Fonte: Shu

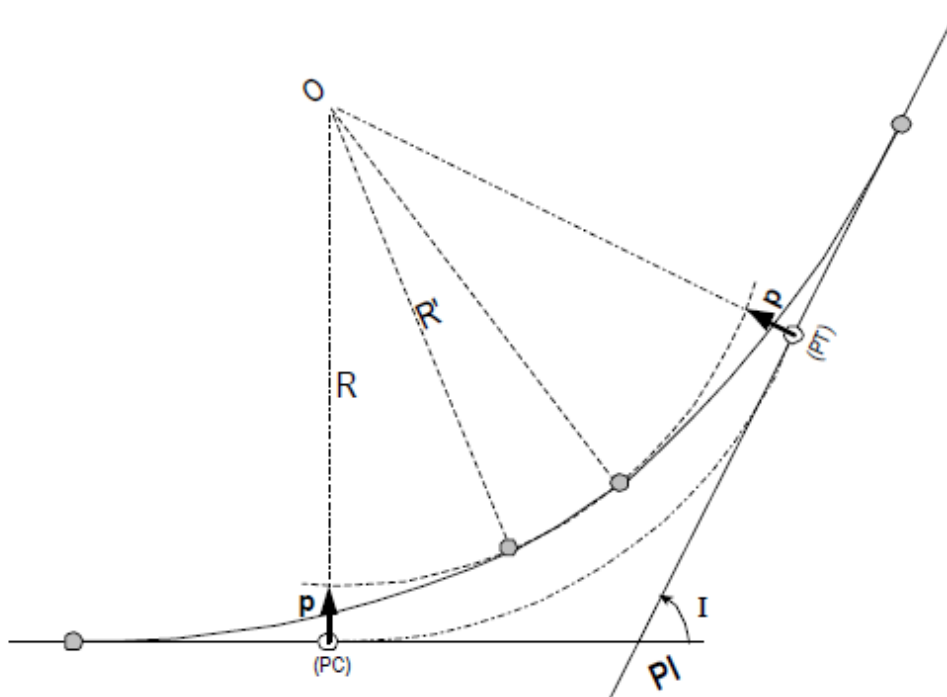


Figura 3.4: Centro conservado  
Fonte: Shu

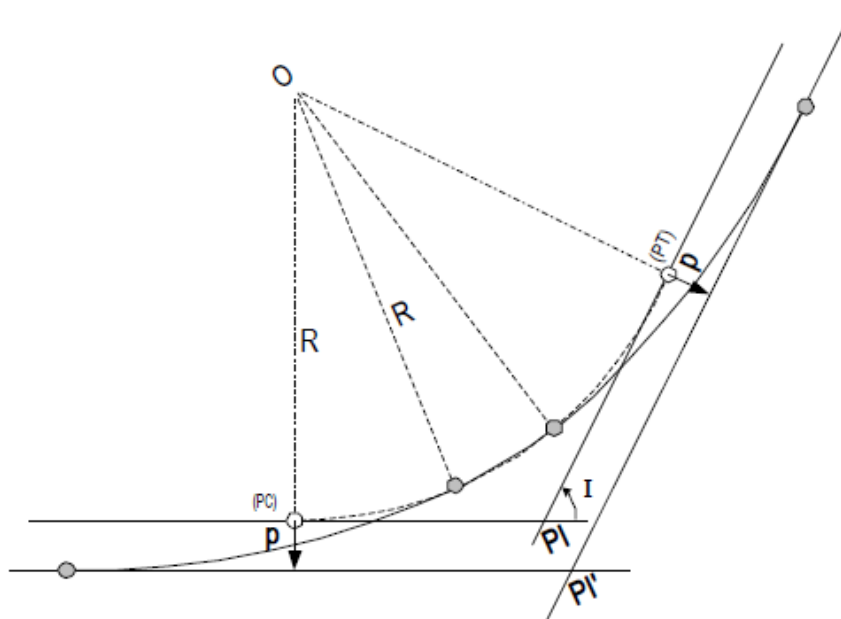


Figura 3.5: Raio e Centro conservado

Fonte: Shu

### 3.3 ESTUDO DA CURVA DE TRANSIÇÃO - ESPIRAL DE CORNU

#### 3.3.1 PONTOS PRINCIPAIS DA TRANSIÇÃO

Uma curva com transição em espiral tem a configuração representada a seguir e os seus elementos são identificados no sentido crescente do estaqueamento; observe-se que os dois ramos da espiral são, por construção, exatamente iguais e simétricos, garantindo assim as mesmas condições de tráfego nos dois sentidos.



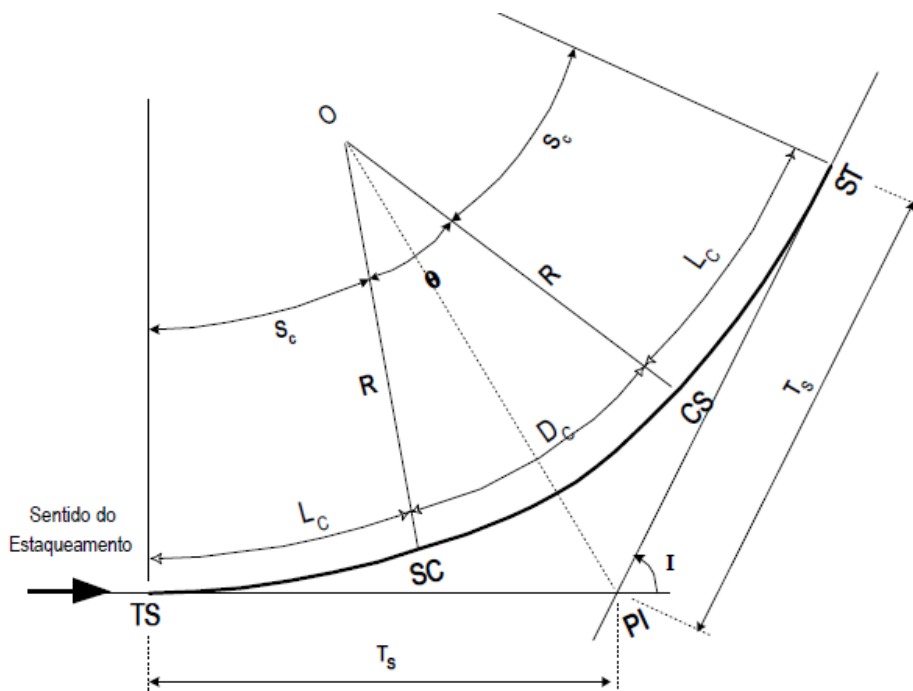


Figura 3.6: Elementos da Curva de Transição

Fonte: Shu

**PI = Ponto de interseção.** É o ponto definido pelo cruzamento dos alinhamentos base (tangentes).

**I = Deflexão total da curva.** É o ângulo formado pelo prolongamento de um alinhamento e o seguinte.

**TS = Ponto de curva.** É o ponto onde finda a tangente e tem início o primeiro ramo da espiral (Tangent/Spiral).

**SC = Ponto osculador.** É o ponto onde finda o primeiro ramo da espiral e inicia o tramo circular (Spiral/Circle).

**CS = Ponto osculador.** É o ponto termina o primeiro tramo da circular e começa o segundo ramo da espiral (Circle/Spiral).

**ST = Ponto de tangente.** É o ponto onde termina o segundo ramo da espiral e tem continuidade o alinhamento seguinte (Spiral/Tangent).

**$\rho$  = Raio da espiral.** Corresponde ao raio variável em qualquer ponto da espiral, tendo valor máximo igual a infinito no TS ou ST e mínimo igual ao raio da curva circular no Sc ou CS.

**R = Raio da circular.** Corresponde ao raio constante do tramo circular da curva.

**$l_c$  = Comprimento total da espiral.** Corresponde ao comprimento de cada ramo da espiral, igual no início e final da curva de transição; distância em curva entre os pontos TS e SC e também entre CS e ST.

**$l$  = Comprimento na espiral.** Corresponde a distância medida na espiral, do ponto TS ou ST até um ponto qualquer interno a espiral.

**$S_c$  = Ângulo central total da espiral.** Corresponde ao ângulo central da espiral entre TS ou ST ao ponto osculador CS ou SC.

**S = Ângulo central da espiral.** Corresponde ao ângulo central de um ponto qualquer da espiral.

**AC = Ângulo central da circular.** É o ângulo central total do tramo circular.

**C = Corda total.** Corresponde a distância medida no alinhamento retilíneo entre os pontos TS e SC.

### 3.3.2 COMPRIMENTO DA TRANSIÇÃO

No ramo espiral da transição ( $\ell_c$ ) vai ocorrer todo o desenvolvimento da superelevação, portanto a definição do seu comprimento é função direta da grandeza do raio da curva, da velocidade diretriz e da taxa de superelevação, podendo ser visualizado como sendo o comprimento necessário para se percorrer a espiral em um tempo compatível com a assimilação da trajetória pelo veículo e pelo usuário.

Através de sucessivas experiências, adotou-se limites para um comprimento mínimo, porém nosso objetivo não é trabalhar em condições mínimas, razão pela qual buscou-se um parâmetro para trabalho em condições normais, quando possível.

#### A. COMPRIMENTO MÍNIMO

Com fundamento em experiências do Eng<sup>o</sup> Joseph Barnett, da “Public Road Administration/USA”, e em conformidade com as normas técnicas do DNER, adotaremos a chamada fórmula de Barnett.

$$\ell_{c \text{ min}} = \frac{0,036.V^3}{R}$$

$\ell_{c \text{ min}}$  = comprimento mínimo da espiral

V= Velocidade diretriz (Km/h)

R= Raio da curva circular projetada (metros).

#### B. COMPRIMENTO NORMAL

Analogamente, teremos:

$$\ell_c = 6 * \sqrt{R}$$

$\ell_c$  = comprimento da espiral

R= Raio da curva circular projetada (metros).

### 3.3.3 ÂNGULO CENTRAL DA ESPIRAL

Em função da possível variação de um ponto sobre o ramo da espiral da curva, podemos matematicamente deduzir o valor do ângulo central correspondente, identificando duas situações, sendo uma para um ponto qualquer e outra, em particular, para o ponto osculador.

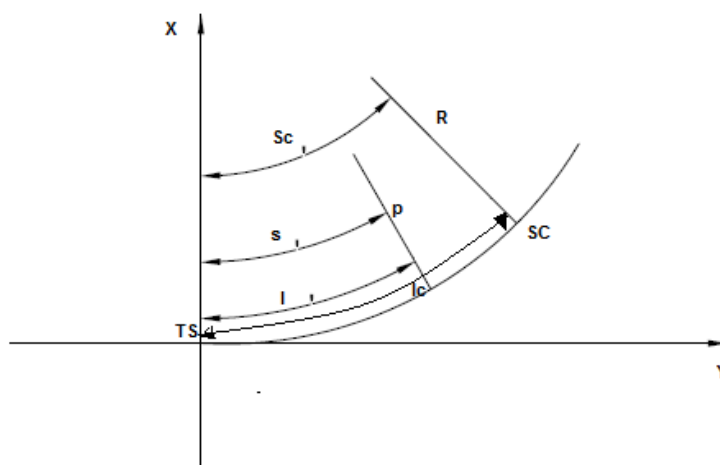


Figura 3.7: Ângulo central da espiral

Fonte: Pimenta

### A. PONTO QUALQUER

O ângulo central é definido pela aplicação da fórmula

$$S = \ell^2 / (2 \cdot R \cdot \ell_c) \text{ (Radianos)}$$

$S$  = ângulo central da espiral, correspondente a um ponto qualquer da curva de transição, expresso em RADIANOS.

$\ell$  = comprimento entre o ponto TS e o ponto qualquer da transição (metros).

$\ell_c$  = comprimento total da transição, entre o ponto TS e o ponto SC (metros).

$R$  = raio da curva circular projetada (metros).

### B. PONTO OSCULADOR

No caso particular do ponto osculador o comprimento  $\ell = \ell_c$ , resultando a seguinte fórmula:

$$S_c = \ell_c / (2 \cdot R) \text{ (Radianos)}$$

OBS: os ângulos obtidos em Radianos podem ser transformados em minutos e, por conseqüência, em graus, através da multiplicação do ângulo em radianos por 3.437,75.

$$\hat{\text{Ângulo}} \text{ (minutos)} = \hat{\text{ângulo}} \text{ (radianos)} * 3.437,75$$

A relação entre os ângulos centrais dos ramos espirais e ramo circular com a deflexão total da curva é definida pela expressão

$$I = 2 S_c + AC$$

### 3.3.4 COORDENADAS CARTESIANAS DE UM PONTO DA ESPIRAL

O sistema de coordenadas cartesianas adotado tem como referência o eixo **Y** coincidindo com o prolongamento da tangente e a origem do sistema coincidindo com o ponto TS ou ST; portanto o eixo **X** coincide com o raio da espiral nestes pontos TS ou ST.

#### A. PONTO QUALQUER

As coordenadas de um ponto qualquer da transição serão definidas pelas seguintes expressões:

$$x = \frac{\ell \cdot S}{3} \left( 1 - \frac{S^2}{14} + \frac{S^4}{440} \right) \qquad y = \ell \left( 1 - \frac{S^2}{10} + \frac{S^4}{216} \right)$$

S em radianos

#### B. PONTO OSCULADOR

No caso do ponto osculador, valem todos os conceitos vistos até então, resultando as seguintes expressões:

$$x_c = \frac{\ell_c \cdot S_c}{3} \left( 1 - \frac{S_c^2}{14} + \frac{S_c^4}{440} \right) \qquad y_c = \ell_c \left( 1 - \frac{S_c^2}{10} + \frac{S_c^4}{216} \right)$$

S<sub>c</sub> em radianos

### 3.3.5 DEFLEXÕES DO RAMO DA ESPIRAL REFERENCIADO À ORIGEM

A deflexão de um ponto no ramo da espiral é o ângulo formado pela tangente a um ponto tomado como referencial e a direção a este ponto da espiral. Este ponto, tomado como referencial, é o ponto de origem da espiral (TS ou ST).

Quando nos referimos a deflexões relativas à origem, fica subentendido tratar-se do ângulo medido naquele ponto, formado pelo prolongamento da tangente e pela direção do ponto definido na espiral.

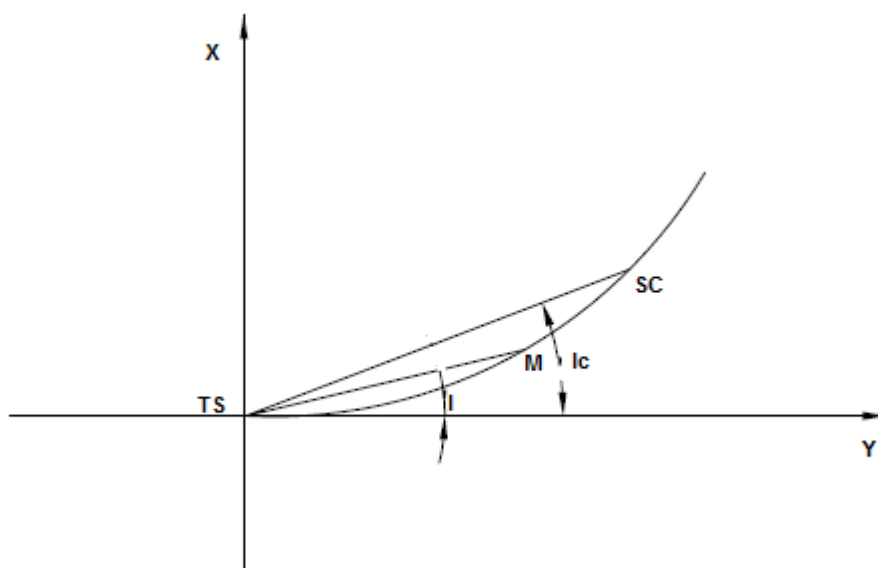


Figura 3.8: Deflexões em relação à origem (TS ou ST)

Fonte: Pimeta

### A. PONTO QUALQUER

A deflexão de um ponto qualquer sobre o ramo da espiral é definida pela seguinte expressão:

$$i = \left(\frac{S_c}{3}\right) \cdot \left(\frac{l}{l_c}\right)^2$$

### B. PONTO OSCULADOR

Com base na definição de um ponto qualquer e considerando que para o ponto osculador os valores de  $l$  e  $l_c$  são iguais, temos:

$$i_c = \frac{S_c}{3} \quad \text{Ou também} \quad \text{tg } i_c = \frac{x_c}{y_c}$$

### 3.3.6 ELEMENTOS DE CALCULO DA CURVA DE TRANSIÇÃO

Com base na representação esquemática de uma curva de transição, podemos definir alguns de seus elementos.

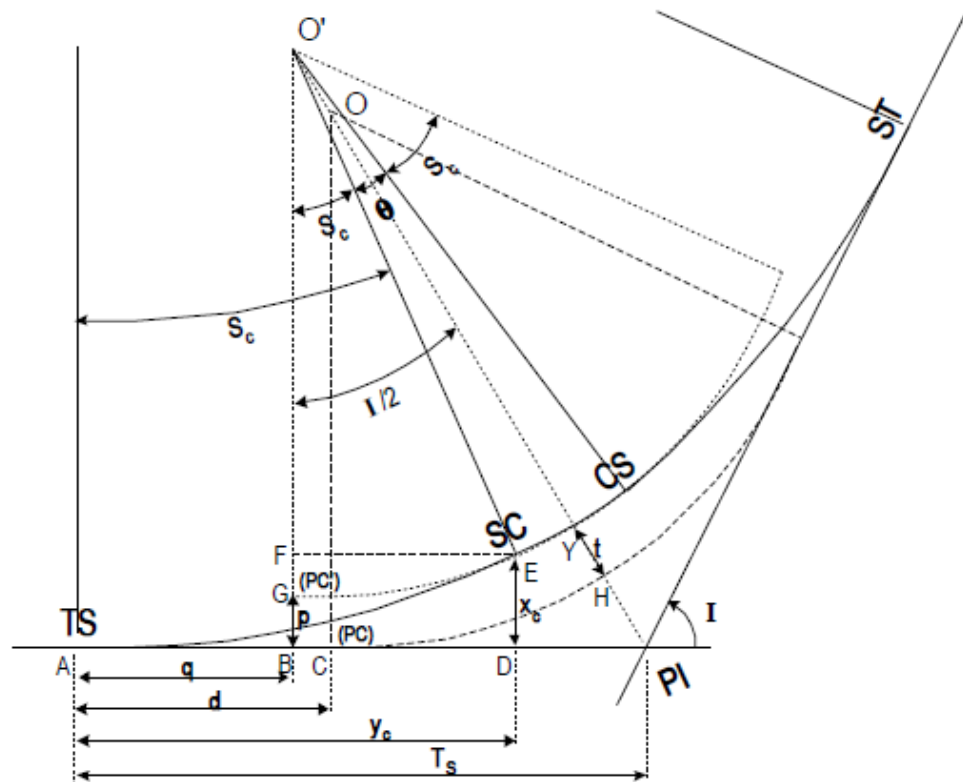


Figura 3.9: Elementos de cálculo da curva de transição  
 Fonte: Shu

**A - COORDENADAS CARTESIANAS DO PC E PT DESLOCADO**

Para ser possível intercalar a curva de transição é necessário o prévio conhecimento do PC e PT deslocados da curva circular, ou seja, as posições que ocupariam se a curva circular fosse simplesmente recuada, mantendo as mesmas dimensões. Na figura 3.10, o PC deslocado está representado pelo ponto G e é identificado através de suas coordenadas

$$q = y_c - R \cdot \text{sen } S_c \qquad p = x_c - R(1 - \text{cos } S_c)$$

**B. COORDENADAS CARTESIANAS DO PC E PT PRIMITIVOS**

Corresponde às posições do PC e PT da curva circular primitiva que dá origem a curva de transição; como definição de suas coordenadas, teremos a abscissa igual a zero por estar no próprio eixo y, e a ordenada dada pela fórmula:

$$d = q + p \cdot \text{tg} \left( \frac{I}{2} \right)$$

**C. TANGENTE EXTERNA TOTAL**

Corresponde à distância entre o ponto PI e o ponto TS ou ST, definida pela expressão:

$$T_s = q + (R + p) * \operatorname{tg}\left(\frac{I}{2}\right)$$

#### D. RECUO DA CURVA CIRCULAR

É a distância medida no eixo de simetria da curva, entre a curva circular primitiva e deslocada, definida por:

$$t = \frac{p}{\cos\left(\frac{I}{2}\right)}$$

#### E. CORDA TOTAL DA ESPIRAL

Corresponde a distância retilínea entre os pontos TS e SC ou também entre CS e ST

$$C = \frac{y_c}{\cos i_c}$$

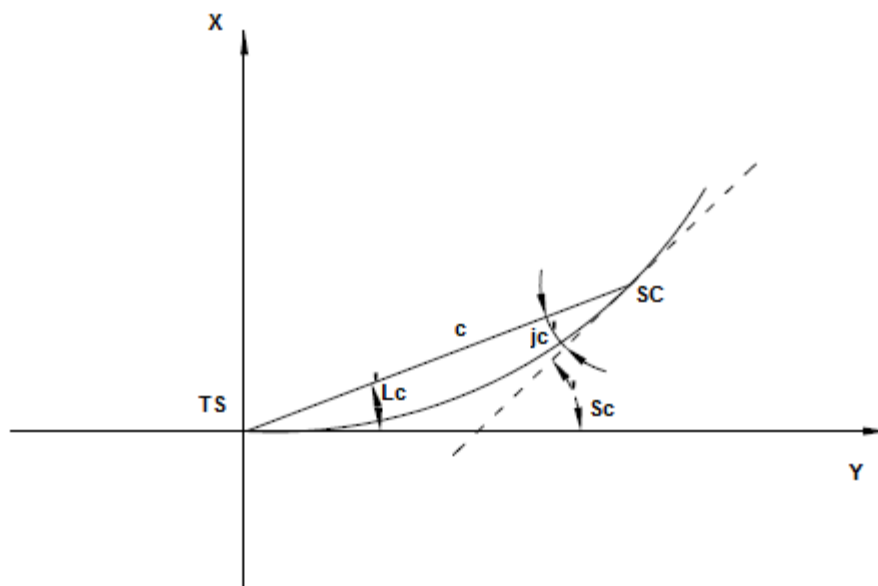


Figura 3.10: Corda total da espiral

Fonte: Pimenta

#### F. ORDENADA DA ESPIRAL EM FRENTE AO PC/PT DESLOCADO

O valor da abscissa  $x_p$  da espiral em frente (no alinhamento) do PC ou PT deslocados é dado pela expressão

$$x_p = \frac{p}{2},$$

e tem como função o auxílio na definição gráfica da curva, constituindo um terceiro ponto a orientar o traçado da espiral com auxílio de uma curva francesa (instrumento de desenho técnico).

### 3.4 COMPATIBILIDADE ENTRE RAIOS E DEFLEXÃO

Nos casos de deflexões pequenas, **menores que 55°**, existe a possibilidade de, conforme o raio adotado, o arco circular desaparecer entre os dois ramos da espiral, ou formando *um cotovelo* ou o cruzamento destes ramos, ao invés da desejada concordância. Para evitar sucessivas tentativas de correção, deve-se verificar se a deflexão medida (real) é maior que a deflexão calculada, definida pela seguinte expressão:

$$I_{calc} = \frac{342 \cdot \sqrt{R} + 290}{R}$$

Se  $I_{med} > I_{calc}$  significa que há compatibilidade entre raio e deflexão; caso contrário ( $I_{med} < I_{calc}$ ), deve ser feita uma reavaliação a partir da alteração do valor do raio, no caso aumentado-o por ser a única variável, pois a deflexão medida é inalterável.

### 3.5 SEQÜÊNCIA DE PROCEDIMENTO DE PROJETO

Para o cálculo de curvas de transição, pode-se estabelecer um roteiro de orientação, passo a passo, estabelecendo uma seqüência de definição de seus elementos, como segue:

1. Traçam-se as duas tangentes, representando sua interseção, devendo ser calculado o valor da deflexão através dos métodos indicados;
2. Escolhe-se um raio de curva circular mais conveniente;
3. Verifica-se a compatibilidade entre a deflexão  $I$  e o raio adotado; faz-se o ajuste do raio aumentando seu valor quando necessário;
4. Determinado o raio e o  $\ell_c$ , deve-se calcular os demais elementos com o objetivo de conhecer o comprimento da tangente externa total ( $T_s$ );
5. Graficamente, com origem em PI e raio igual a  $T_s$ , marcam-se os pontos extremos da espiral TS e ST;
6. Traça-se a bissetriz do ângulo entre os alinhamentos;



7. Marcam-se os pontos osculadores através das ordenadas  $x_c$  e  $y_c$  já calculadas;
8. Com compasso centrado nos pontos SC e CS, abertura igual ao raio, marca-se sobre a bissetriz traçada o centro deslocado da curva circular;
9. Com a mesma abertura do compasso, e origem no centro marcado, traça-se a curva circular;
10. Com as ordenadas  $q$  e  $p/2$ , marcam-se os pontos dos ramos da espiral localizados a frente do PC e PT deslocados;
11. Com o auxílio da *curva francesa*, busca-se uma curva que mais suavemente concorde a tangente com a circular, passando pelos pontos demarcados, ou seja, pontos TS ou ST, pontos a frente do PC ou PT deslocados e pontos osculadores SC e CS;
12. Complementação do desenho com cuidados de acabamento e nomenclatura adequados;
13. Em caso de curvas sucessivas, garantir que não haja sobreposição entre elas, podendo haver coincidência do ponto final de uma curva e do ponto inicial da seguinte, o que denominamos corriqueiramente de *curvas coladas*; é desejável, quando possível, a existência de tangentes longas, maiores que 300 metros, entre curvas consecutivas, aceitando-se tangentes menores até o limite inferior de 40 metros. Tangentes menores que 40 metros devem ser suprimidas e as curvas recalculadas para que resulte em curvas coladas.

### 3.6 ESTAQUEAMENTO

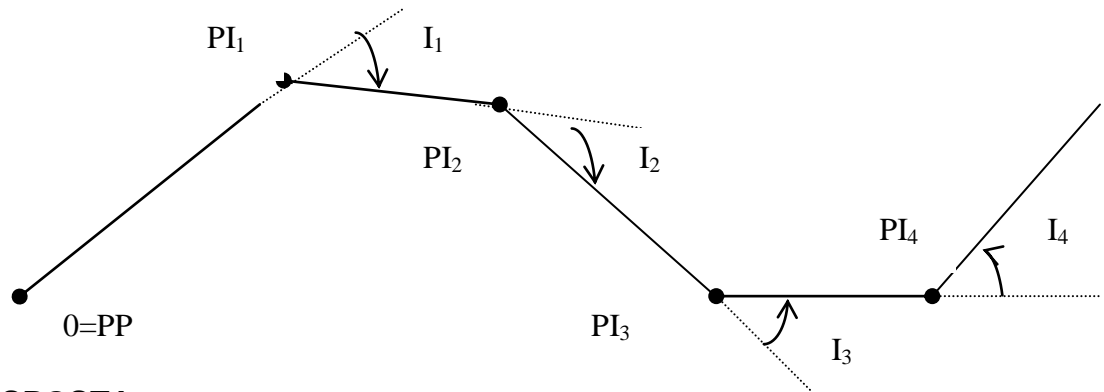
Conforme já foi abordado nas curvas circulares, o estaqueamento das curvas de transição segue exatamente a mesma orientação, diferenciando somente pelos pontos referenciáveis adotados que passam a ser, na ordem, TS, SC, CS e ST cujas distâncias intermediárias são  $l_c$  (comprimento total da espiral),  $D$  (desenvolvimento da curva circular) e novamente  $l_c$ , respectivamente.

### 3.7 EXERCÍCIOS

**3.7.1** - Conhecidos alguns elementos a seguir discriminados, de quatro curvas consecutivas de concordância horizontal do projeto de uma rodovia, calcular todos os demais. Adotar corda base de 10,000m, estaqueamento de 20,000m e velocidade diretriz de 70Km/h.. Em caso de sobreposição de duas curvas, ajustar os elementos da curva subsequente no sentido do estaqueamento, visando torna-las curvas coladas.

**ELEMENTOS CONHECIDOS**

ALINHAMENTOS	DEFLEXÕES	RAIOS ESCOLHIDOS
0=PP - PI <sub>1</sub> = 800,00m	I <sub>1</sub> = 24° 30'	R <sub>1</sub> = 200,00m
PI <sub>1</sub> - PI <sub>2</sub> = 260,00m	I <sub>2</sub> = 18° 30'	R <sub>2</sub> = 400,00m
PI <sub>2</sub> - PI <sub>3</sub> = 420,00m	I <sub>3</sub> = 35°	R <sub>3</sub> = 725,00m
PI <sub>3</sub> - PI <sub>4</sub> = 380,00m	I <sub>4</sub> = 25°	R <sub>4</sub> = 810,00m



**RESPOSTA**

Curva 1 - transição			Curva 3 - circular		
R <sub>1</sub> = 220.000m	G <sub>1</sub> = 2°36'16"	T <sub>S1</sub> = 4est + 12,526m	I <sub>3</sub> = 35° = AC <sub>3</sub>	G <sub>3</sub> = 0°47'25"	Φ <sub>C3</sub> = 17°30'
ℓ <sub>c1</sub> = 88,994 m	AC <sub>1</sub> = 1°19'21"	TS <sub>1</sub> = 35est + 7,474m	Φ <sub>ob3</sub> = 0°23'42"	Φ <sub>m3</sub> = 0°02'22"	T <sub>3</sub> = 228,5920 m
S <sub>c1</sub> = 11°35'19"	Φ <sub>C1</sub> = 0°39'16"	ℓ <sub>c1</sub> = 4est + 8,994m	E <sub>3</sub> = 35,184 m	f <sub>3</sub> = 33,555 m	D <sub>3</sub> = 442,878 m
i <sub>c1</sub> = 3°51'46"	Φ <sub>ob1</sub> = 1°18'08"	SC <sub>1</sub> = 39est + 16,468m	Distância PI <sub>2</sub> :PI <sub>3</sub> (D <sub>23</sub> ) = 21est	T <sub>3</sub> = 11est + 8,592m	PC <sub>3</sub> = 62est + 7,897m
j <sub>c1</sub> = 7°43'32"	Φ <sub>m1</sub> = 0°07'48"	D <sub>1</sub> = 0est + 5,078m	D = 22est + 2,878m	PT <sub>3</sub> = 84est + 10,775m	
x <sub>c1</sub> = 5,982 m	D <sub>1</sub> = 5,078 m	CS <sub>1</sub> = 40est + 1,546m	Curva 4 - circular		
y <sub>c1</sub> = 88,631 m	C <sub>1</sub> = 88,832 m	ST <sub>1</sub> = 44est + 10,541m	Φ <sub>4</sub> = 25° = AC <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> = 0°42'26"	Φ <sub>C4</sub> = 12°30'
q <sub>1</sub> = 44,436 m	p <sub>1</sub> = 1,490 m		Φ <sub>ob4</sub> = 0°21'13"	Φ <sub>m4</sub> = 0°02'07"	f <sub>4</sub> = 19,200 m
T <sub>S1</sub> = 92,526 m	x <sub>p1</sub> = 0,745 m		T <sub>4</sub> = 179,573 m	E <sub>4</sub> = 19,666 m	T <sub>4</sub> = 8est + 19,573m
Curva 2 - transição			D <sub>4</sub> = 353,430 m	Distância PI <sub>3</sub> :PI <sub>4</sub> (D <sub>34</sub> ) = 19est	PC <sub>4</sub> = 83est + 2,611
G <sub>2</sub> = 1°25'56"	i <sub>c2</sub> = 2°51'53"	j <sub>c2</sub> = 5°43'46"	Obs.: Como o PT <sub>3</sub> está na estaca 84+10,775m, há uma sobreposição das curvas 3 e 4. A solução é ajustar o raio da curva 4 de tal maneira que a mesma fique colada com a curva 3 (est PT <sub>3</sub> = est PC <sub>4</sub> ), ou seja, D <sub>34</sub> = T <sub>3</sub> + T <sub>4</sub> = 380,000 = 228,592 + T <sub>4</sub>		
ℓ <sub>c2</sub> = 120,000 m	x <sub>c2</sub> = 5,990 m	y <sub>c2</sub> = 119,730 m	T <sub>4</sub> = 151,408m	R <sub>4</sub> = 682,959 m	G <sub>4</sub> = 0°50'20"
S <sub>c2</sub> = 8°35'39"	C <sub>2</sub> = 119,879 m	x <sub>p2</sub> = 0,745 m	Φ <sub>C4</sub> = 12°30'	Φ <sub>ob4</sub> = 0°25'10"	Φ <sub>m4</sub> = 0°02'31"
q <sub>2</sub> = 59,954 m	p <sub>2</sub> = 1,490 m	TS <sub>2</sub> = 125,340 m	T <sub>4</sub> = 151,408 m	E <sub>4</sub> = 16,582 m	f <sub>4</sub> = 16,189 m
G <sub>2</sub> = 1°25'56"	AC <sub>2</sub> = 1°18'40"	Φ <sub>C2</sub> = 0°39'20"	D <sub>4</sub> = 297,997 m	D <sub>34</sub> = 19est	PT <sub>4</sub> = 99est + 8,772m
Φ <sub>ob2</sub> = 0°42'58"	Φ <sub>m2</sub> = 0°04'17"	D <sub>2</sub> = 9,154 m	PC <sub>4</sub> = 84est + 10,775m ≡ PT <sub>3</sub>	D <sub>4</sub> = 14est + 17,997m	T <sub>4</sub> = 7est + 11,408m
TS <sub>2</sub> = 6est + 5,340m	TS <sub>2</sub> = 46est + 12,675m	ℓ <sub>c2</sub> = 6est			
SC <sub>2</sub> = 52est + 12,675m	D <sub>2</sub> = 0est + 9,154m				
ST <sub>2</sub> = 59est + 1,829m	CS <sub>2</sub> = 53est + 1,829m				

## 4. SUPERELEVAÇÃO

### 4.1 INTRODUÇÃO

Os veículos em movimento curvilíneo são submetidos à ação de forças transversais que correspondem à *força centrífuga*.

Para equilibrar esta solicitação, além da *força de atrito entre o pneu e a pista*, utiliza-se o artifício de se executar uma inclinação transversal da pista, com caimento para o lado interno da curva, denominada *superelevação*, de maneira que a força peso do veículo tenha uma componente na mesma direção e em sentido contrário à referida força centrífuga.

Se aumentarmos o raio da curva, a força centrífuga diminui, sendo possível o equilíbrio unicamente com o atrito transversal, dispensando a superelevação.

O desenvolvimento gradativo da **superelevação** (inclinação crescente) deve se dar ao longo do trecho da curva de transição, de forma que ao se iniciar o trecho da curva circular a inclinação transversal já seja a desejada.

São fatores que influenciam o comprimento do trecho de transição:

- a. Velocidade de giro da pista em torno do eixo de rotação;
- b. Aparência visual e estética do alinhamento;
- c. Intervalo de tempo em que ocorre o aumento da aceleração centrífuga entre a seção normal em tangente e a situação em curva circular.

### 4.2 DEFINIÇÕES

A seguir estão definidos os principais termos e expressões que se relacionam especialmente à superelevação:

**PLATAFORMA:** consiste da parte da rodovia compreendida entre os limites externos dos passeios ou entre os pés de corte e cristas de aterro, incluindo todos os dispositivos necessários à drenagem da pista.

**PISTA DE ROLAMENTO:** parcela da área pavimentada da plataforma, designada e projetada para a utilização pelos veículos em movimento contínuo.

**BORDOS DA PISTA:** limites laterais da pista de rolamento. No caso de pistas duplas, o limite à direita do sentido de tráfego é denominado bordo externo e aquele à esquerda, bordo interno.

**FAIXA DE ROLAMENTO:** faixa longitudinal da pista, designada e projetada para uma fila de veículos em movimento contínuo.

**ACOSTAMENTO:** parcela da área da plataforma adjacente à pista de rolamento, objetivando permitir que veículos em início de processo de desgoverno retomem a direção correta, proporcionar aos veículos acidentados, com defeitos ou cujos motoristas fiquem incapacitados de continuar dirigindo, um local seguro para serem estacionados fora da trajetória dos demais veículos e estimular os motoristas a usar a largura total da faixa mais próxima do acostamento. Contribuem também para conter e suportar a estrutura do pavimento da pista de rolamento. Nos casos de pista dupla, os acostamentos à direita do sentido de tráfego são denominados **externos** e aqueles à esquerda, **internos**.

**PISTA DE SEÇÃO TRANSVERSAL COM CAIMENTO SIMPLES:** pista com declividade transversal em um único sentido entre os bordos, normalmente para a direita do sentido de tráfego, aplicável em pista dupla.

**PISTA DE SEÇÃO TRANSVERSAL ABAULADA:** pista cuja seção tem declividade transversal em dois sentidos, seja sob forma continuamente arredondada (seção convexa), seja sob forma de dois planos cuja interseção forma a crista da seção.

**CANTEIRO CENTRAL:** espaço compreendido entre os bordos internos de pistas de rolamento, com tráfego geralmente em sentidos opostos, objetivando separá-las física, operacional, psicológica e esteticamente. Por definição, inclui os acostamentos internos ou faixas de espera e conversão à esquerda.

**EIXO:** linha de referência, cujo alinhamento sequencial no plano horizontal define o traçado em planta e a ele são referidos os elementos planimétricos da via.

**EIXO DE ROTAÇÃO DA PISTA:** linha fictícia longitudinal à pista, mantendo constante em cada trecho seu afastamento horizontal e vertical do eixo; em torno dele a pista gira ao longo dos comprimentos de transição do abaulamento e da superelevação. Em muitos casos, coincide com o eixo da via. A ele se refere o greide da rodovia nos casos em que eixo de rotação e eixo da rodovia não coincidem.

**SUPERELEVAÇÃO:** declividade transversal em um único sentido de que a pista é dotada em curvas, com caimento orientado para o centro (lado interno) da curva, com o objetivo de contrabalançar a atuação da aceleração centrífuga.

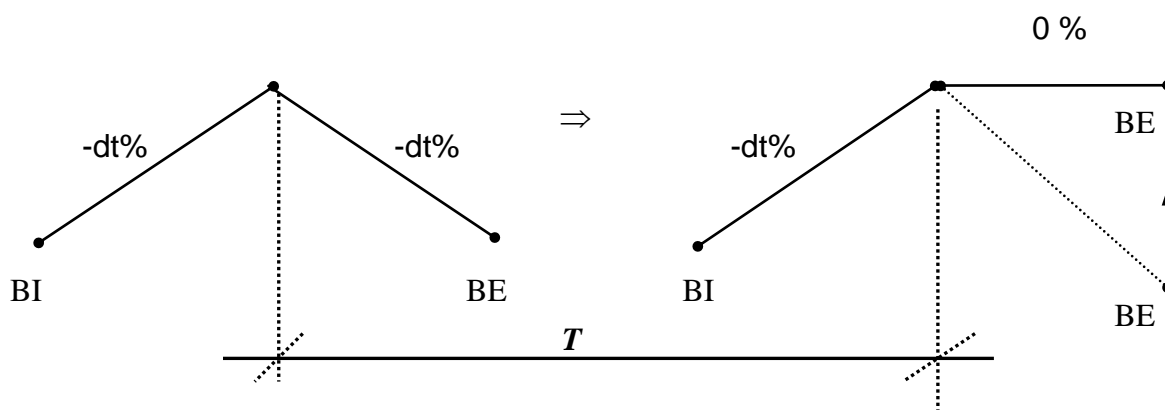
**SUPERELEVAÇÃO NEGATIVA:** declividade transversal da pista com caimento no sentido do lado externo (oposto ao centro) da curva, reforçando a atuação da aceleração centrífuga. Para efeito de cálculo, é considerada superelevação negativa quando abaixo do horizonte e positiva quando acima.

**RAMPA DE SUPERELEVAÇÃO:** diferença de greides, ou seja, a rampa relativa do bordo da pista ou do acostamento em relação ao eixo de rotação ocorre ao longo dos comprimentos de transição da superelevação e do abaulamento. O bordo que interessa geralmente é o mais distante do eixo de rotação.

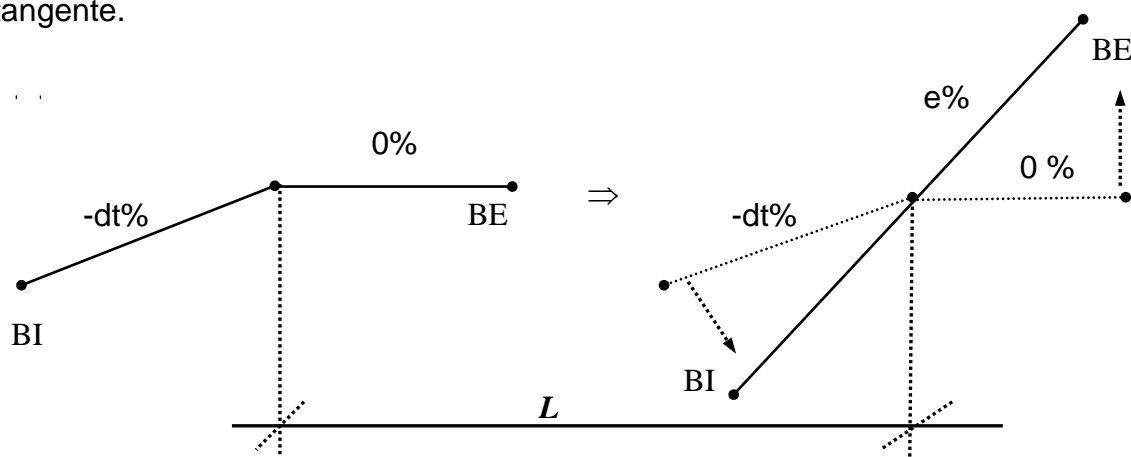
**TAXA DE SUPERELEVAÇÃO:** valor que mede a superelevação, geralmente expresso em porcentagem de rampa, ou seja, a relação entre a distância horizontal de 100 metros e o correspondente desnível vertical.

**SOLAVANCO:** taxa de crescimento da aceleração na unidade de tempo.

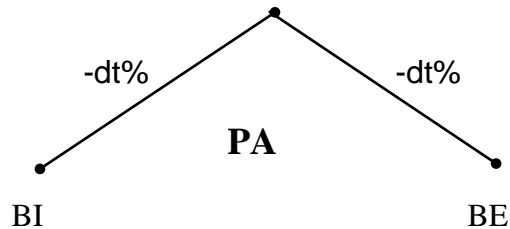
**COMPRIMENTO DE TRANSIÇÃO DO ABAULAMENTO ( $T$ ):** extensão ao longo da qual, nos casos em que é necessário, se processa o giro da pista (ou parte adequada dela), para eliminar a declividade transversal em sentido contrário ao da superelevação a ser alcançada. Seu término coincide com o início do comprimento de transição da superelevação.



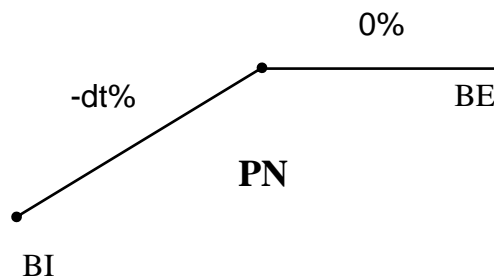
**COMPRIMENTO DE TRANSIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO ( $L$ ):** extensão ao longo da qual se processa o giro da pista em torno do eixo de rotação para dotá-la da superelevação a ser mantida no trecho circular. Seu início situa-se, por definição, no ponto onde a pista (ou parte adequada dela) tem sua seção no plano horizontal. Seu término coincide com o ponto onde é atingida a superelevação a ser mantida no trecho circular. No caso de pistas cuja seção transversal em tangente tem caimento simples no mesmo sentido da superelevação a ser alcançada, o comprimento de transição da superelevação engloba a extensão que teria sido necessária para girar a pista desde uma situação fictícia com declividade transversal nula até a situação em tangente.



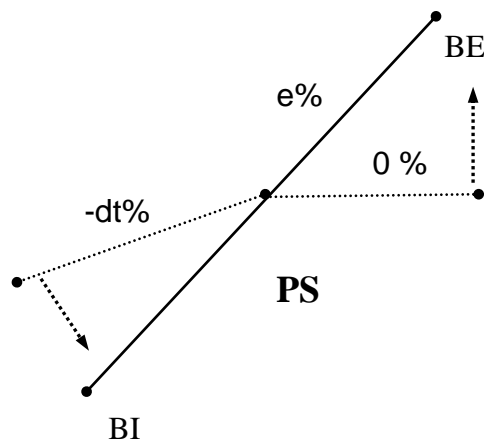
**PONTO DE ABAULAMENTO (PA):** ponto onde inicia o comprimento de transição do abaulamento.



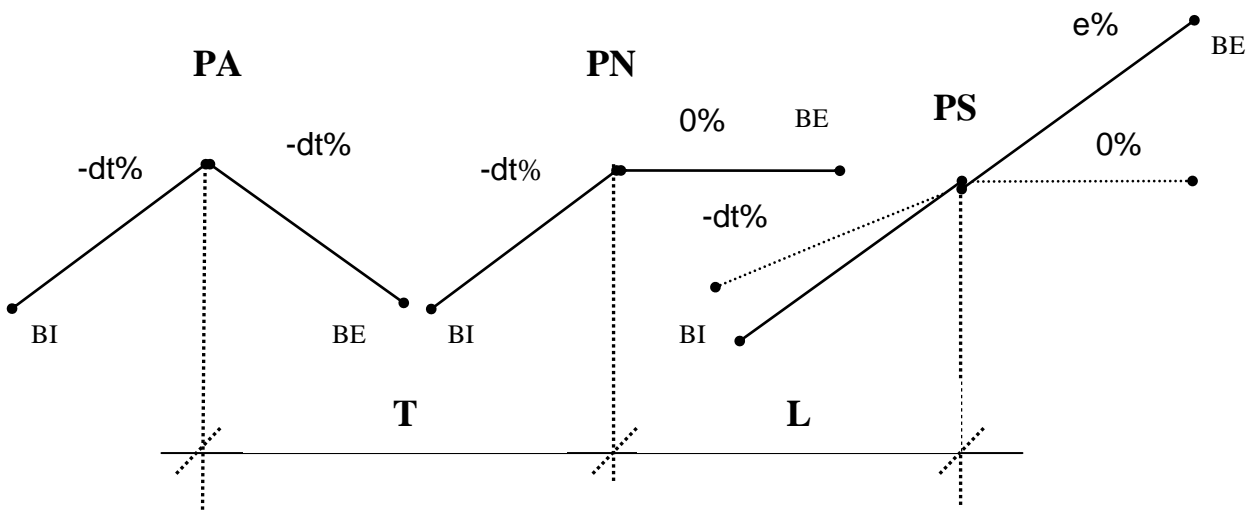
**PONTO DE NÍVEL (PN):** ponto onde a pista (ou parte adequada dela) tem sua seção no plano horizontal, após ter sido eliminada, nos casos em que é necessária, a declividade transversal em sentido contrário à superelevação a ser alcançada. Determina o término do comprimento de transição do abaulamento e o início do comprimento de transição da superelevação.



**PONTO DE SUPERELEVAÇÃO (PS):** ponto onde termina a rotação da pista e é alcançada a superelevação total a ser mantida no trecho circular.



**COMPRIMENTOS DE TRANSIÇÃO (T e L) E PONTOS:**



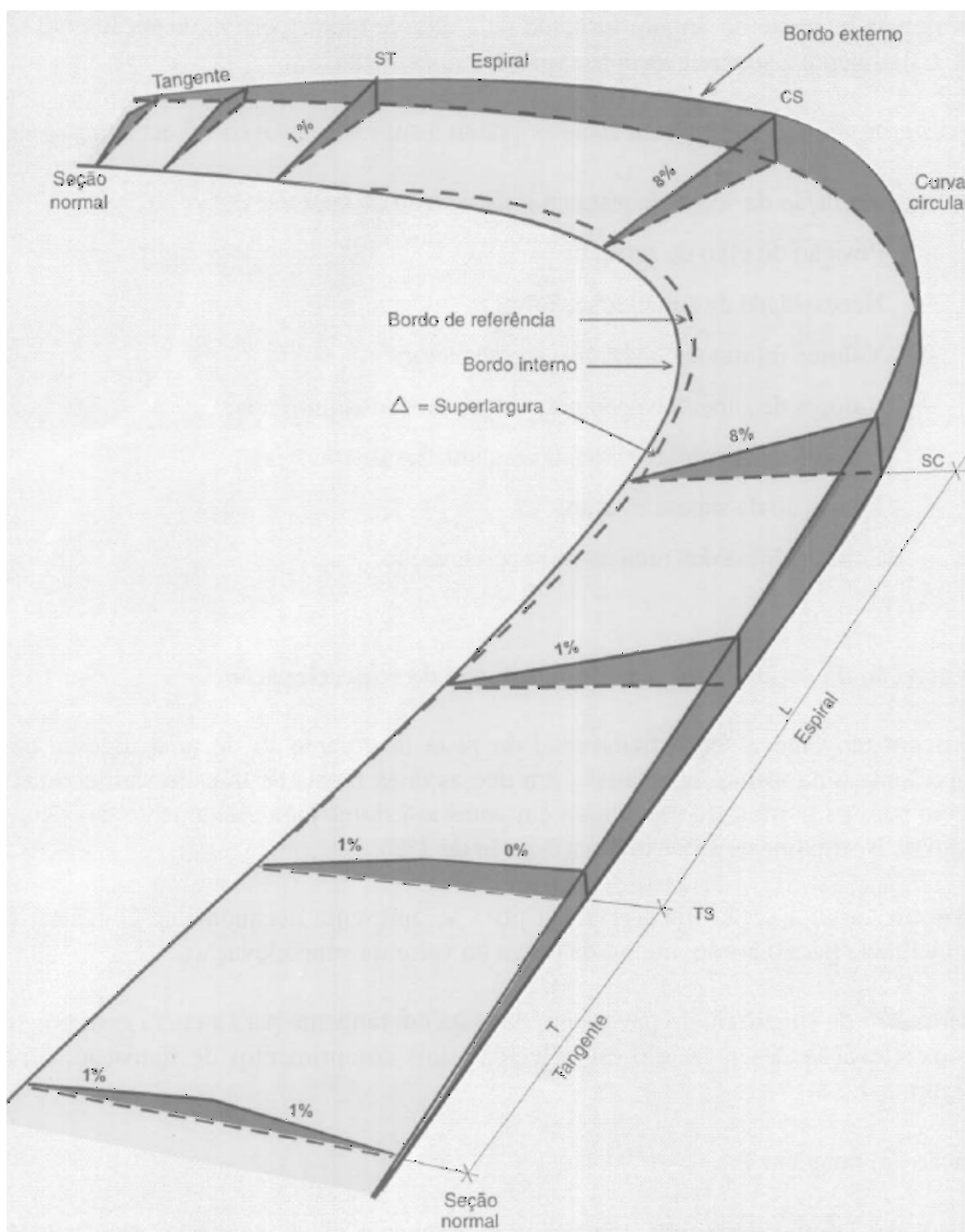


Figura 4.1: Variação da seção da pista na implantação da superelevação  
 Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)



### 4.3 NECESSIDADE DA SUPERELEVAÇÃO

A mudança de trajetória dos veículos rodoviários, em curvas, é conseguida pela atuação de uma força, de forma a alterar sua trajetória inicial.

São formas de introdução da força necessária à alteração da trajetória, as quais atuam isolada ou simultaneamente:

- Proporcionar à pista de rolamento declividade transversal com caimento orientado para o centro da curva;
- Giro das rodas direcionais do veículo, tornando-se oblíquas ao eixo longitudinal do veículo, porém sempre tangentes a cada ponto da trajetória.

Em trajetória curvilínea, a resultante das forças que atuam sobre o veículo pode ser decomposta em duas componentes, tangencial e transversal à trajetória. Esta última é a responsável pela mudança de direção.

#### 4.3.1 EQUILÍBRIO DE FORÇAS COM ATRITO TRANSVERSAL

Ao trafegar à **Velocidade Ótima** (velocidade de equilíbrio sem atrito), para uma determinada combinação de raio e superelevação, o veículo ajusta-se espontaneamente à trajetória circular, sem requerer esforços no volante. Estes se tornam necessários, quando a velocidade não for a velocidade ótima, para desenvolver um atrito transversal entre pneu e pista e contribuir para manter o veículo na trajetória curva desejada.

Quando a velocidade for inferior à velocidade ótima, para manter o veículo na trajetória desejada é necessário exercer um esforço sobre o volante para o lado externo (oposto ao centro) da curva, quando for superior, o esforço é efetuado para o lado interno. A situação de equilíbrio de forças atuantes sobre o veículo que então ocorre é expressa pela relação a seguir:

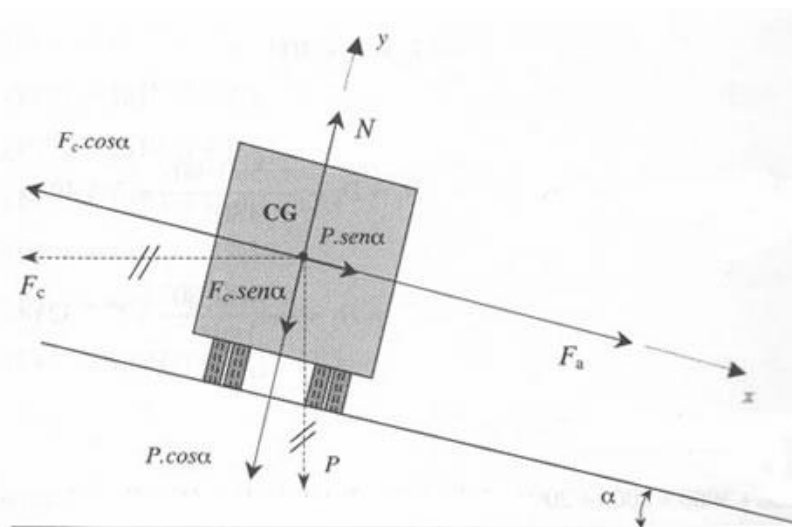


Figura 4.2: Equilíbrio de forças com atrito transversal  
Fonte: PONTES FILHO, 1998

$$P.\text{sen } \alpha + f.P.\text{cos } \alpha = F.\text{cos } \alpha$$

transformando analogamente, obtém-se:

$$\text{tg } \alpha + f = \frac{V^2}{g.R}$$

(V em km/h, R em m)

$$e + f = \frac{V^2}{127.R}$$

Em velocidades menores que a Velocidade Ótima, temos  $F.\text{cos } \alpha < P.\text{sen } \alpha$ , fazendo com que o veículo tenda a se deslocar para o centro da curva e a força  $f P.\text{cos } \alpha$  inverte seu sentido de atuação, ou seja, o coeficiente  $f$  torna-se negativo.

Essa fórmula exprime a relação geral entre valores quaisquer de velocidade, raio da curva, superelevação e o correspondente coeficiente de atrito transversal. Deve ser observado que o termo  $(e+f)$  exprime uma soma algébrica, em que a superelevação pode ser positiva ou negativa (conforme a declividade da pista tenha caimento para o lado interno ou externo da curva, respectivamente). O mesmo sucedendo com o coeficiente de atrito transversal (conforme seu sentido de atuação se oriente para o lado interno ou externo da curva, respectivamente).

Para uma dada velocidade, e adotando-se simultaneamente os valores máximos admissíveis para a superelevação e para o coeficiente de atrito transversal, decorre o valor do raio mínimo admissível.

Os valores máximos admissíveis para o coeficiente de atrito transversal entre pneu e pista constam da Tabela 1.1:

Tabela 4.1: Valores máximos admissíveis para os coeficientes de atrito transversal ( $f_{max}$ ) (\* Modernamente, deveriam ser reavaliados)

$V_{Diretriz}$ Km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_{max}$	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

Deve ser observado que os máximos coeficientes de atrito transversal admissíveis respondem em geral por 1/2 a 2/3 do valor total do termo  $(e+f)$ , são seguros e determinados experimentalmente.

### 4.3.2 LIMITES PARA A ADOÇÃO DE SUPERELEVAÇÃO

A taxa máxima de superelevação admissível é adotada em combinação com o raio mínimo correspondente a cada velocidade diretriz. São adotadas taxas de superelevação gradativamente decrescentes para a faixa de raios (superiores ao mínimo) compreendida entre o raio mínimo e o raio que requer uma superelevação igual à declividade transversal da pista tangente.

Os principais motivos encontram-se expostos a seguir, devendo ser observado que são essencialmente função da velocidade do veículo:

1) Para raios muito grandes, a taxa de superelevação efetivamente necessária já seria muito pequena. Adotando-se nesses casos a seção normal em tangente, os veículos trafegando na faixa de rolamento com superelevação negativa (declividade transversal com caimento para o lado externo da curva) ficam então sujeitos a atritos transversais, porém sensivelmente inferiores aos valores máximos admissíveis constantes na Tabela 1.1.

2) Curvas com grandes raios começam a se confundir visualmente com a tangente, tornando desagradável, pelo seu caráter aparentemente desnecessário, a existência perceptível de uma superelevação, mesmo com a taxa mínima admissível.

Um critério simples, associado à velocidade diretriz, para estabelecer os valores dos raios acima dos quais a superelevação pode ser dispensada encontra-se resumido na Tabela 1.2.

Tabela 4.2: Valores dos raios-limite acima dos quais a superelevação é dispensável

$V_{Diretriz}$ Km/h	30	40	50	60	70	80	90	100
$R(m)$	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

### 4.3.3 TAXAS LIMITES ADMISSÍVEIS PARA A SUPERELEVAÇÃO

As taxas de superelevação máxima e mínima admissíveis nos projetos rodoviários estão compreendidas entre limites condicionados por motivos de ordem técnica e prática.

### A) TAXA MÍNIMA DE SUPERELEVAÇÃO ADMISSÍVEL

A seção transversal da pista em tangente, para possibilitar a drenagem das águas pluviais, é dotada de declividade transversal, seja em um único sentido (seção com caimento único), seja em dois sentidos, a partir da crista (seção abaulada).

Pelo mesmo motivo, por considerações de coerência, a declividade transversal mínima de uma pista superelevada será igual à declividade transversal da pista em tangente, mesmo sendo superior ao efetivamente necessário, tendo em vista apenas o valor do raio da curva e da velocidade, ou seja,

$$e_{min} = d_t$$

Onde,

$e_{min}$  = taxa mínima de super elevação admissível;  
 $d_t$  = declividade transversal da pista em tangente.

### B) TAXA MÁXIMA DE SUPERELEVAÇÃO ADMISSÍVEL

A taxa máxima de super elevação adotada é empregada em combinação com o raio mínimo, proporcionando as condições limites para cada velocidade diretriz. Essa taxa máxima servirá também de base para a determinação das taxas de super elevação para os raios superiores ao mínimo.

A consideração conjunta das condicionantes acima referidas conduz aos valores práticos recomendados para a taxa máxima admissível de super elevação, conforme expressos na Tabela 1.3 a seguir, não obstante, cada curva deverá ser analisada antes de ser decidido em caráter final o valor a adotar.

Tabela 4.3: Taxas máximas de super elevação admissíveis -  $e_{max}$ .

$e_{máx.}$	Casos de Emprego
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10%	Máximo normal. Adequado para fluxo ininterrupto. Adotar para rodovias Classe 0 e rodovias Classe I em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior normal. Adotar para rodovias Classe I em região montanhosa e rodovias das demais classes de projeto.
6%	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em geral sujeitando o tráfego a reduções de velocidades ou paradas.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

$e_{m\acute{a}x} = 12\%$  - É a máxima taxa prática admissível para a superelevação em projetos rodoviários. Seu emprego é excepcional e geralmente se restringirá aos casos de melhorias e correções de situações perigosas já existentes sem alteração da curva em planta (por economia ou mera impossibilidade). Assim, curvas existentes no meio de rampas íngremes em rodovias de mão dupla não se enquadrariam no caso em foco. Por sua vez, curvas situadas em pontos baixos do greide, entre duas rampas íngremes, com uma combinação insuficiente de raio e superelevação, poderiam ser melhoradas da forma descrita. O mesmo cabe às pistas de mão única de uma rodovia de pista dupla. No caso de projetos novos, é recomendado de modo geral aumentar o raio ao invés da superelevação, ressalvando o caso de duplicação com aproveitamento da pista existente sem alterações, quando então cada sentido de tráfego pode ser atendido separadamente, se necessário.

$e_{m\acute{a}x} = 10\%$  - Empregada em projetos de rodovias de elevado padrão, onde as condições topográficas, geométricas e de atrito lateral, bem como o nível de serviço favoreça elevadas velocidades e um fluxo ininterrupto.

$e_{m\acute{a}x} = 8\%$  - Empregada em projetos de rodovias de padrão intermediário ou de rodovias de elevado padrão sujeitas a fatores (especialmente topográficos) que afetem a velocidade média e a fluidez do tráfego.

$e_{m\acute{a}x} = 6\%$  - Empregada em projetos condicionados por urbanização adjacente, com redução da velocidade média e a presença de freqüentes interseções em nível.

$e_{m\acute{a}x} = 4\%$  - Utilizada em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente e reduzida flexibilidade para variar as declividades da pista e sem vias marginais.

#### 4.3.4 RAIOS MÍNIMOS DE CURVATURA HORIZONTAL

Os raios mínimos de curvatura horizontal são os menores raios que podem ser percorridos à velocidade diretriz e a taxa máxima de superelevação, em condições aceitáveis de segurança e de conforto de viagem. Os valores mínimos para o projeto geométrico de rodovias rurais, em função de diferentes taxas máximas de superelevação “ $e$ ”, encontram-se resumidos abaixo.

Entretanto, na medida do possível, deverá ser objetivada a utilização de valores acima desses mínimos.

O raio mínimo de curvatura horizontal é definido pela expressão

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})}$$

Uma vez fixada a taxa máxima de superelevação para um determinado projeto e estabelecido o máximo coeficiente de atrito transversal admissível, obtém-se o valor do raio mínimo.

### 4.3.5 TAXA DE SUPERELEVAÇÃO

#### A - TAXAS DE SUPERELEVAÇÃO PARA PROJETOS NOVOS

Nos projetos de novas rodovias considerações de coerência e de conforto de viagem recomendam que, à medida que os raios aumentem, os valores da superelevação “*e*” decresçam gradualmente. Esse decréscimo gradual será feito segundo uma relação curvilínea entre as taxas de superelevação e os raios de curvatura, e é definida pela expressão a seguir, que vem a traduzir a taxa de superelevação considerada ideal de uma curva.

$$e = e_{max} \left[ \left( \frac{2R_{min}}{R} \right) - \left( \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \right]$$

#### B - TAXAS DE SUPERELEVAÇÃO NAS RESTAURAÇÕES DE RODOVIAS

Nos casos de restauração de pistas existentes normalmente é mantida a conformação geométrica do pavimento que, em diversas situações, poderá ter sido construído com base em critérios e hipóteses diferentes dos expostos acima.

Entretanto, deverá ser sempre verificada e assegurada a existência de uma taxa de superelevação não inferior à mínima indispensável para cada combinação de raio de curva e velocidade. A verificação da adequação da superelevação será feita empregando a expressão geral a seguir:

$$e > \left( \frac{V^2}{127R} \right) - f_{max}$$

Onde,

**e** = superelevação indispensável (m/m);

**V** = velocidade predominante de operação efetivamente ocorrente no trecho (km/h);

**R** = raio da curva (m);

**f<sub>máx</sub>** = máximo coeficiente de atrito transversal admissível (Tabela 1.1).

Uma curva com superelevação inferior ao valor calculado conforme a expressão acima não é suficientemente segura para ser percorrida pelo tráfego às velocidades de operação efetivamente ocorrentes no trecho e deve ser retificada.

### **4.3.6 NECESSIDADES E LIMITES DAS CURVAS HORIZONTAIS COM OU SEM TRANSIÇÃO**

É importante destacar que para fins didáticos, a definição quanto ao tipo de curva horizontal, circular ou de transição, foi estabelecida em função do raio limite de **614,25m**, acima do qual a curva passa a ser circular, dispensando-se então qualquer outra análise.

### **4.3.7 POSIÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO DA PISTA**

O eixo de rotação da pista, cujo greide é o próprio greide da rodovia, pode ser disposto em diversas situações entre o eixo da pista ou do canteiro central e o bordo da pista. A posição a ser escolhida em cada caso decorrerá da consideração conjunta de todos os fatores intervenientes.

#### **A) PISTAS SIMPLES**

No caso mais usual de pistas simples de mão dupla com eixo no centro e seção transversal abaulada, o eixo de rotação geralmente coincidirá com o eixo do projeto.

Em certas circunstâncias, diversos outros elementos podem condicionar a escolha da posição do eixo de rotação:

1. Atendimento à drenagem;
2. Diferença admissível de cota entre os bordos extremos da plataforma ou entre os bordos do canteiro central;
3. Adaptação da seção transversal ao terreno;
4. Considerações estéticas de condução ótica e econômica;
5. Necessidades decorrentes de interseções e conversões em nível.

A adoção do *bordo da pista do lado interno* da curva como eixo de rotação é justificado onde houver risco de problemas de drenagem devido ao abaixamento do bordo interno ou ainda onde for necessário orientar a cota desse bordo pelo uso do solo adjacente.

A adoção do *bordo da pista do lado externo* da curva como eixo de rotação favorece a aparência e a estética, ao evitar a elevação desse bordo, normalmente o mais perceptível pelo motorista.

#### **B) PISTAS DUPLAS**

Em rodovias de pista dupla, no caso geral, são possíveis três posições básicas para o eixo de rotação:

1. Um único eixo de rotação situado no centro do canteiro central;

2. Um eixo de rotação para cada pista coincidente com o bordo da pista adjacente ao canteiro;
3. Um eixo de rotação para cada pista coincidente com o bordo da pista oposto ao canteiro.

O eixo de rotação será coincidente com o eixo do canteiro central quando este for estreito ( $\leq 7,00$  m), bem como nas áreas de interseções em nível.

Por definição, a largura total do canteiro central inclui a largura da separação física não trafegável e a largura dos acostamentos internos ou faixas de segurança, faixas de conversão à esquerda, etc.

No caso de canteiros com largura intermediária (7,00 a 12,00 m), na ausência de outras condicionantes, é comum adotar um eixo de rotação para cada pista, coincidente com os bordos de pistas adjacentes ao canteiro ou com os centros de pista.

No caso de canteiros largos (acima de 12,00 m), os eixos de rotação podem igualmente coincidir com os bordos de pista adjacentes ao canteiro ou com os bordos de pista opostos ao canteiro. Tratando-se de canteiros largos com dimensões variáveis, as pistas serão tratadas como pistas simples independentes.



CONDIÇÃO	POSIÇÃO ATUAL	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
Caso geral sem restrição às cotas ou abaixamento/elevação dos bordos. Distribuição simétrica das variações altimétricas	Um eixo de rotação coincidente com o eixo da pista	
Evitar problemas de drenagem no lado interno das curvas. Realçar curva após longa tangente em nível. Uso do solo condicionante	Um eixo de rotação coincidente com o bordo da pista do lado interno da curva	
Favorecer a aparência e a estética. Uso do solo condicionante	Idem, coincidente com o bordo da pista do lado externo da pista.	

Tabela 4.4 – a: Posição do eixo de rotação para pistas simples

CONDIÇÃO	POSIÇÃO ATUAL	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
Canteiro central reduzido (até 7 m). Em áreas com intersecções em nível. Espaço entre estruturas coberto. Aceitáveis diferenças de cota entre bordos extremos da plataforma.	Um eixo de rotação situado na intersecção dos planos das duas pistas.	
Canteiro central intermediário (de 7 a 12m). Caso geral, sem restrições às cotas ou abaixamento/elevação dos bordos. Melhor distribuição das variações altimétricas.	Um eixo de rotação, para cada pista, coincidentes com os bordos de pistas adjacentes ao canteiro central.	
Canteiro central largo (acima de 12m). Posição em função dos critérios e objetivos predominantes (drenagem, aparência, uso do solo, etc.)	Um eixo de rotação para cada pista, coincidentes com um dos bordos da cada pista.	
Canteiro central com grande largura variável. Pistas com traçados independentes.	Um eixo de rotação para cada pista, coincidentes com os eixos da cada pista	

Tabela 4.4 – b: Posição do eixo de rotação para pistas duplas

## 4.4 COMPRIMENTOS DE TRANSIÇÃO

### 4.4.1 COMPRIMENTO DE TRANSIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO ( $L$ )

É o comprimento correspondente à extensão necessária para efetuar o giro da pista desde a situação onde a mesma (ou parte adequada dela) tem (ou teria) declividade transversal nula (**Ponto de Nível - PN**), até a situação com a superelevação total necessária no trecho circular.

O comprimento de transição da superelevação ( $L$ ) deve estar situado entre valores máximos ( $L_{max}$ ) e mínimos ( $L_{min}$ ) determinados de acordo com os critérios a seguir:

#### A) VALORES MÍNIMOS ( $L_{min}$ )

Quatro critérios diferentes condicionam o estabelecimento do comprimento mínimo de transição da superelevação em cada caso. O valor a ser adotado deverá atender simultaneamente a todos os critérios, sendo desejável a adoção de valores superiores ao valor mínimo assim determinado.

##### A.1) Critério do Máximo Crescimento da Aceleração Centrífuga

A aceleração centrífuga que atua sobre ao veículo cresce de um valor nulo no início da transição da superelevação a um valor constante na curva circular. A taxa admissível de crescimento da aceleração centrífuga, denominada solavanco transversal admissível, é condicionada por considerações de conforto dinâmico e dirigibilidade, sendo o comprimento mínimo de transição da superelevação estabelecido através da Tabela 4.5 a seguir.

Tabela 4.5: Comprimentos mínimos de transição da superelevação em função da velocidade diretriz - Critério do solavanco transversal admissível

$V_{Diretriz}$ (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
$L_{min}$ (m)	1200/R	2550/R	4800/R	8450/R	14070/R	22650/R	35730/R

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

*Obs: Este critério é empregado essencialmente para fins de verificação, posto que é freqüentemente suplantado pelos demais critérios.*

##### A.2) Critério da Máxima Rampa de Superelevação Admissível

O valor da rampa de superelevação (rampa relativa, ou seja, a diferença de greides entre o bordo de pista mais desfavorável e o eixo de rotação da

pista no trecho de transição da superelevação) traduz a taxa de variação da declividade transversal da pista, que envolve aspectos de conforto dinâmico, dirigibilidade e aparência geral.

O comprimento mínimo de transição da superelevação neste caso é calculado pela fórmula:

$$L_{\min} = \frac{d \cdot e}{r}$$

Onde,

$L_{\min}$  = comprimento mínimo de transição da superelevação (m);

$d$  = distância do eixo de rotação (no centro da pista) ao bordo da pista, igual à largura de uma faixa de rolamento (m);

$r$  = rampa básica de superelevação admissível (m/m ou %) definida através da Tabela 4.6 a seguir;

$e$  = taxa de superelevação na curva circular (m/m ou %).

Tabela 4.6: Rampas de superelevação admissíveis para pistas de duas faixas com eixo de rotação no centro

$V_{Diretriz}$ (km/h)	40	50	60	70	80	90	$\geq 100$
$r$ (%)	0,73	0,65	0,59	0,54	0,50	0,47	0,43

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

### A.3) Critério da Fluência Ótica

Não aplicável em função da nossa definição didática de curva de transição.

### A.4) Critério do Mínimo Absoluto

Valores muito pequenos para o comprimento de transição da superelevação, mesmo atendendo aos critérios anteriores, não têm eficácia prática, não favorecem a aparência e, ademais, conduzem a perfis íngremes para os bordos da pista.

Em conseqüência, os comprimentos de transição da superelevação não deverão ser inferiores aos valores mínimos constantes da Tabela 4.7 a seguir, estabelecidos em função da velocidade diretriz.

Esses valores correspondem aproximadamente à extensão percorrida à velocidade diretriz no tempo de 2 segundos, possibilitando ao motorista a percepção visual da inflexão do traçado que será percorrida.

Tabela 4.7: Valores mínimos absolutos para os comprimentos de transição da superelevação

$V_{Diretriz}$ (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
$L_{min}$ (m)	30	30	30	40	40	50	60

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

## B) VALORES MÁXIMOS ( $L_{max}$ )

O valor máximo do comprimento de transição da superelevação é condicionado por dois critérios.

### B.1) Critério do Máximo Ângulo Central da Clotóide

Considerações de ordem prática quanto à utilização da clotóide recomendam limitar a 28°39' o ângulo central máximo ( $S_c$ ) do segmento dessa espiral. No ponto da clotóide correspondente a esse critério, seu comprimento é igual ao raio que concorda, ou seja:

$$L_{max} = R$$

Onde,

$L_{máx}$  = valor máximo do comprimento da clotóide.

$R$  = raio da curva circular com a qual a clotóide concorda.

### B.2) Critério do Tempo de Percurso

Considerações de ordem prática quanto ao período de tempo em que transcorre a transição recomendam que este seja limitado a 8 segundos, resultando em:

$$L_{max} = 2,2.V$$

onde,

$L_{max}$  = valor máximo do comprimento de transição da superelevação (m);

$V$  = velocidade diretriz (km/h).

## C) VALOR PARTICULARIZADO

Normalmente para curvas circulares adota-se  $L=L_{min}$

Recomenda-se, quando possível, fazer a coincidência entre o comprimento da clotóide da curva de transição ( $l_c$ ) com o comprimento total do desenvolvimento da superelevação.

Assim, tendo  $T+L = l_c$ , teremos a seguinte relação

$$\overline{L = l_c} \quad e \quad dt + e$$

Onde,

$l_c$  = comprimento da curva de transição (m);

$L$  = comprimento de transição da superelevação (m);

$dt$  = declividade transversal da pista em tangente (m/m ou %);

$e$  = superelevação mantida no trecho circular (m/m ou %).

#### 4.4.2 COMPRIMENTO DE TRANSIÇÃO DO ABAULAMENTO (T)

É o comprimento que corresponde à extensão necessária para efetuar a o giro da pista (ou parte adequada dela), desde a situação básica em tangente (**Ponto de Abaulamento-PA**) até a situação onde a pista (ou parte adequada dela) tem declividade transversal nula (**Ponto de Nível - PN**), objetivando eliminar a declividade transversal da pista voltada para o lado externo da curva que se segue.

Seu valor será proporcional ao comprimento de transição da superelevação adotado, de forma a manter desejavelmente a mesma rampa de superelevação, desde o Ponto do Abaulamento até o ponto onde é atingida a superelevação a ser mantida no trecho circular, de acordo com a seguinte fórmula:

$$T = \frac{L \cdot dt}{e}$$

Onde,

$T$  = comprimento de transição do abaulamento (m);

$L$  = comprimento de transição da superelevação (m);

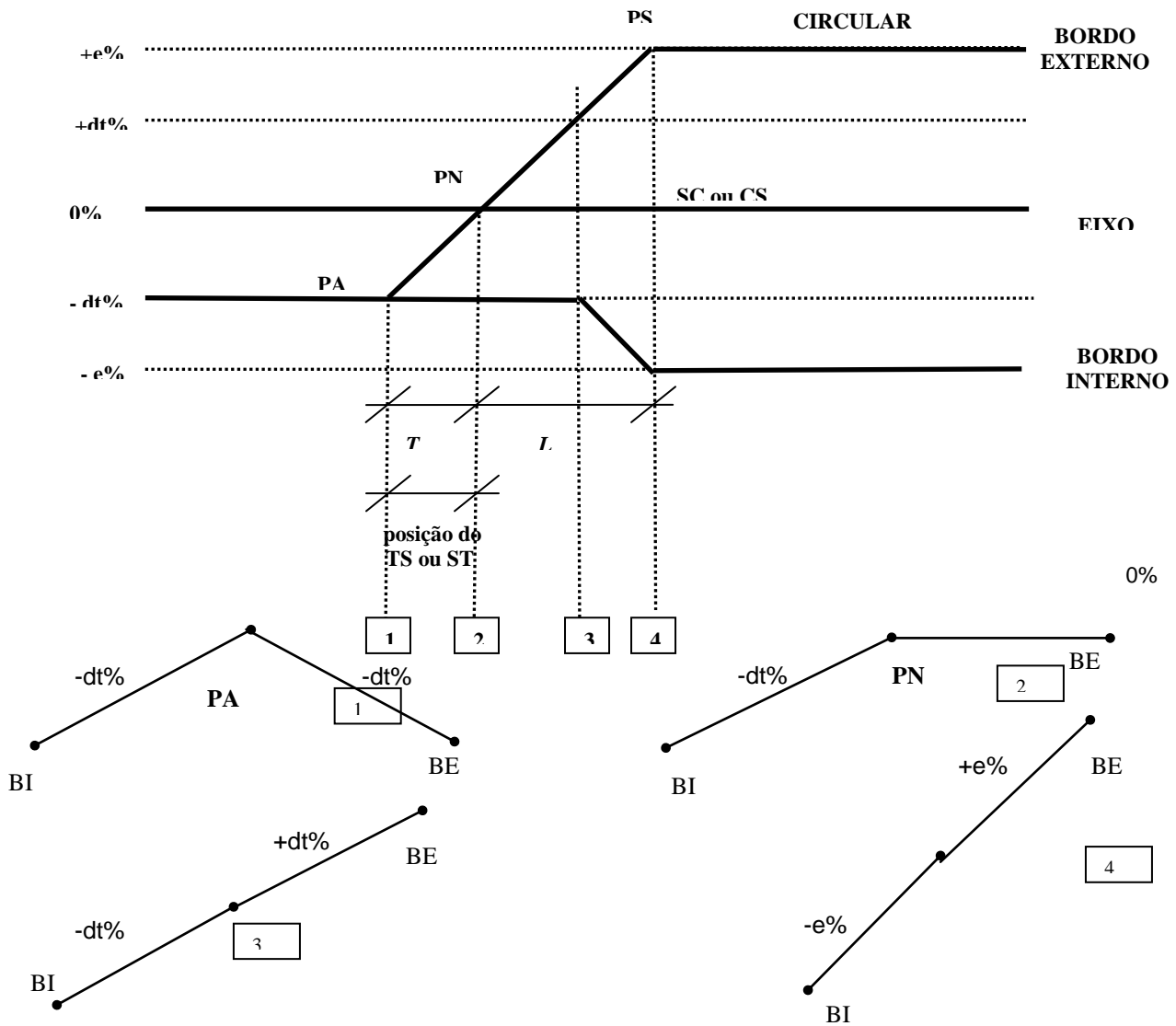
$dt$  = declividade transversal da pista em tangente (m/m ou %);

$e$  = superelevação mantida no trecho circular (m/m ou %).

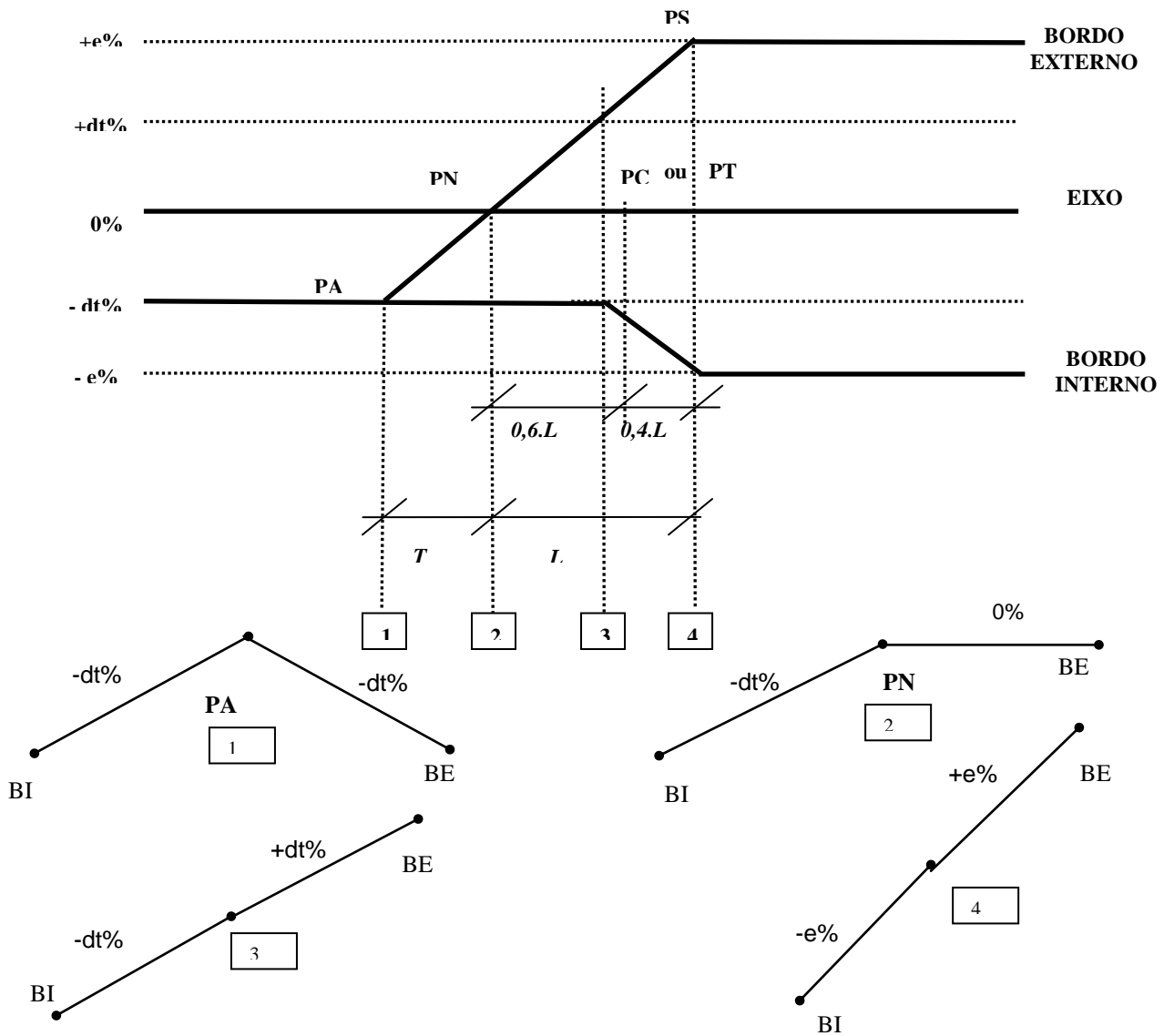
## 4.5 DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO

### 4.5.1 CURVAS ISOLADAS

#### A) CURVAS COM TRANSIÇÃO



B) CURVAS CIRCULARES SIMPLES

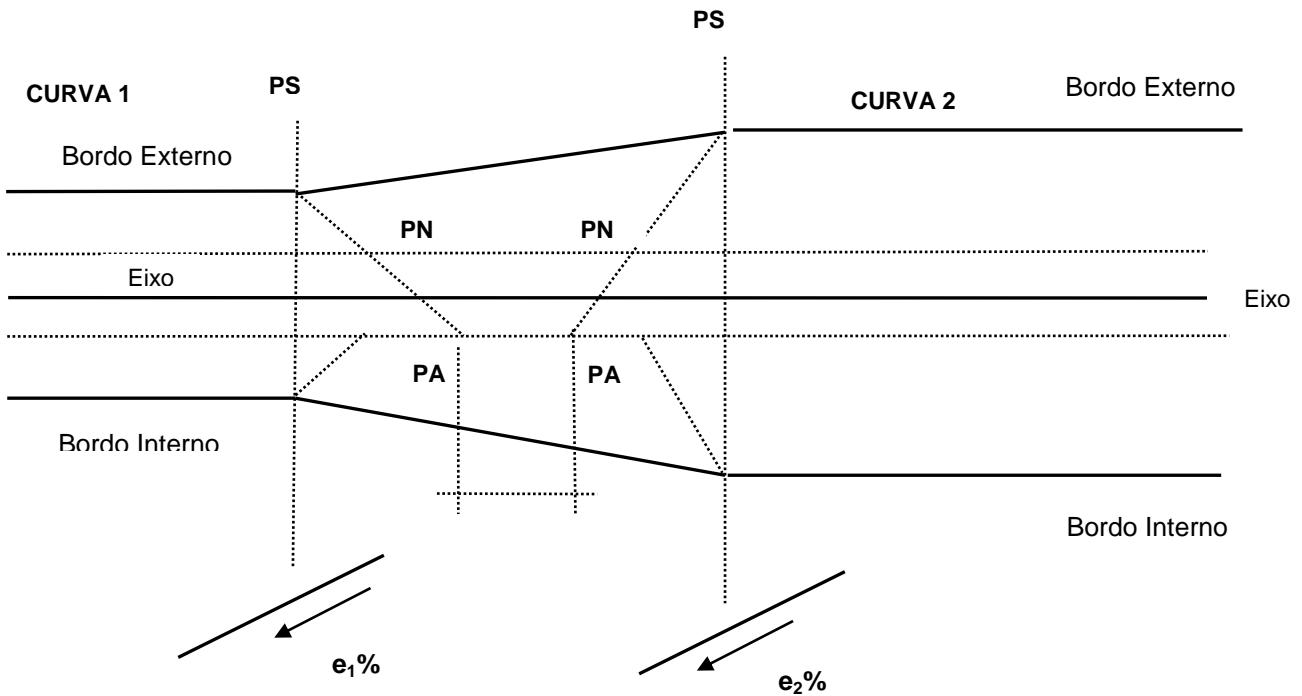


4.5.2 CURVAS PRÓXIMAS

Deve-se analisar duas curvas em função da distância existente entre elas, considerando o sentido de cada uma para definição sobre a influência ou não das superelevações.

A) CURVAS DE MESMO SENTIDO

Se a distância entre os pontos de abaulamento consecutivos (posterior da primeira curva e anterior da segunda) for menor do que a distância percorrida em 2 segundos, na velocidade de projeto,  $D < 0,55V$ , a distribuição se dará entre o PS de uma curva e o PS da curva seguinte.

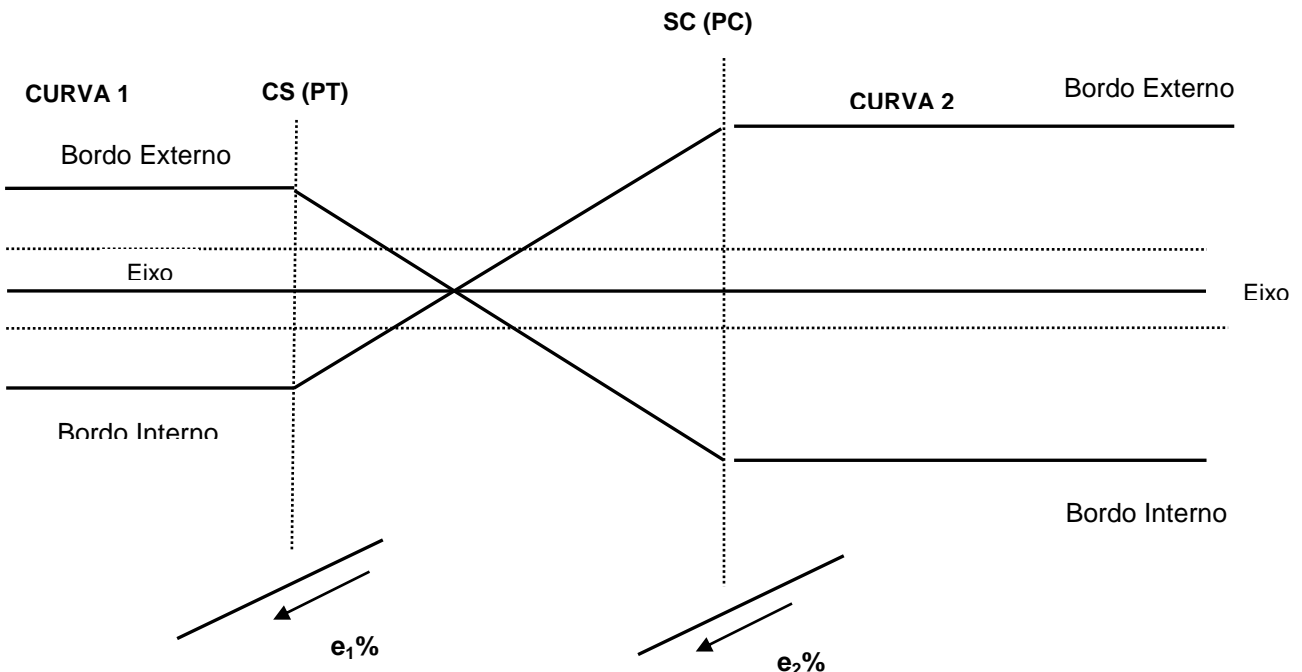


### B) CURVAS DE SENTIDOS OPOSTOS

Se a distância entre os pontos de abaulamento (**PA**) consecutivos (posterior da primeira curva e anterior da segunda) for menor do que a distância dada pela expressão abaixo, deve-se fazer a distribuição em forma de **X**.

$$D < 0,1 \left( \sqrt{R_1 L_1 + R_2 L_2} \right)$$

Onde:  $R_1$  e  $R_2$  = raios das curvas;  
 $L_1$  e  $L_2$  = comprimentos da superelevação das curvas.





## 5. SUPERLARGURA

### 5.1 INTRODUÇÃO

Todo veículo em movimento requer transversalmente em curvas um espaço suplementar em relação à situação em tangente. Essa necessidade decorre basicamente de considerações geométricas, das dimensões, configuração e operação do veículo e, por outro lado, do raio de curvatura de sua trajetória.

Assim sendo, há a necessidade de se adicionar aos valores calculados com base nos requisitos geométricos uma parcela que reflita as influências exercidas sobre o motorista pelo movimento do veículo, especialmente em manter estável a trajetória do veículo em curva.

Desta forma existe uma redução na capacidade de avaliar distâncias transversais devido à sensação de estreitamento da pista causada pela visão da curva em perspectiva, bem como pelo fato do motorista se encontrar sob ação da aceleração centrífuga.

Os requisitos de ordem geométrica decrescem rapidamente de importância com o aumento do valor dos raios, enquanto que a parcela que reflete as influências dinâmicas sobre o motorista, de caráter empírico, decresce muito lentamente. Essas duas circunstâncias requerem que sejam fixados limites para a aplicação de superlargura as pistas rodoviárias.

Só se justifica o uso de superlargura para valores relativamente pequenos de raios, que normalmente só são freqüentes em vias urbanas sujeitas a sérias condicionantes de traçado, em rodovias de classes II ou III ou em rodovias situadas em regiões topograficamente muito adversas. Também a existência de acostamentos pavimentados contribui para reduzir a necessidade de superlargura da pista principal.

Essa necessidade é especialmente realçada ao se ter em conta a elevada participação de caminhões no tráfego das rodovias (de até 60-70%, em alguns casos), o que aumenta sensivelmente a probabilidade desses veículos se cruzarem em uma curva, situação tanto mais perigosa considerando a inércia e a menor dirigibilidade, requerendo larguras de pista adequadas para uma operação segura.

Os valores, fórmulas e cálculos apresentados a seguir referem-se a trechos contínuos de rodovias, aos quais se aplicam os mais elevados critérios de projeto e onde predomina o intuito de proporcionar elevadas condições de segurança e conforto de viagem.

## 5.2 DEFINIÇÕES

A seguir são definidos os principais termos e expressões empregados em caráter geral no texto a seguir:

**Superlargura:** acréscimo total de largura proporcionado às pistas de rolamento de rodovias em curvas, de forma a considerar as exigências operacionais então decorrentes, crescentes com a curvatura, e assegurar um padrão adequado de segurança e conforto de dirigir.

**Veículo de Projeto:** veículo teórico de certa categoria, cujas características operacionais e físicas representam uma envoltória das características da maioria dos veículos existentes nessa categoria.

**Ramos (de interseção ou interconexão):** pistas de rolamento que conectam as vias que se interceptam ou as ligam a outras vias ou ramos.

## 5.3 LIMITES PARA A ADOÇÃO DE SUPERLARGURA

A experiência e o consenso técnico consideram que a eficácia da superlargura só se verifica para a faixa de raios situada próximo do raio mínimo para cada velocidade. Em consequência ao exposto, bem como por razões construtivas, adota-se aqui um valor mínimo de  $0,40m$ . Essas considerações são também coerentes com a necessidade de fixar limites para a aplicação da fórmula adotada para o cálculo da superlargura.

A Tabela 5.1 a seguir apresenta, sob a forma de um critério simples resumido, associado à velocidade diretriz e a largura básica da pista em tangente, para os Veículos de Projeto CO e SR, os valores dos raios acima dos quais é dispensável a superlargura. Deve ser observado que a necessidade de superlargura aumenta com o porte do veículo e com a redução da largura básica da pista em tangente.

Tabela 5.1: Valores dos raios  $r$  acima dos quais é dispensável a superlargura - pistas de 2 faixas

A) Largura básica da pista em tangente = 7,20m

$V_{Diretriz}$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	
$R$ (m)	130	160	190	220	260	310	360	420	<b>Veículo CO</b>
$R$ (m)	270	300	340	380	430	480	540	600	<b>Veículo SR</b>

B).Largura básica da pista em tangente = 6,60m \*

$V_{Diretriz}$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	Veículo CO
R (m)	340	430	550	680	840	1000	

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER,1999)

*Obs: considera-se incompatível em pistas com 6,60m de largura a preponderância do Veículo de Projeto SR ou a ocorrência de velocidades muito elevadas.*

## 5.4 VALORES DE SUPERLARGURA PARA PROJETO

As Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam os valores previamente calculados para a superlargura total, devidamente arredondados para emprego nos projetos rodoviários.

Os arredondamentos foram feitos para valores múltiplos de 0,20m, em coerência com a ordem de grandeza das larguras de pista usualmente adotadas e com as imprecisões e o caráter empírico dos fatores intervenientes no cálculo da superlargura.

As tabelas foram elaboradas para as larguras de pista de 6,60m e 7,20m e considerando os Veículos de Projeto CO e SR, situação estas as mais usuais. Os valores foram calculados para as velocidades diretrizes usuais entre 30 km/h e 100 km/h e para todos os raios múltiplos de 5m compreendidos entre o raio mínimo e o raio limite prático para a adoção de superlargura.

Tabela 5.2: Valores de superlargura para projetos (m)

**PISTA DE 2 FAIXAS – LARGURA = 7,20m**  
**VEÍCULO DE PROJETO = CO**

R V	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
30	2,20	1,80	1,60	1,40	1,20	1,20	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
40					1,40	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
50										1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60
60																	0,80	0,80

R V	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
30	0,40	0,40	0,40	0,40														
40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*	*	*	*	*
50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*
60	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40
70	0,80	0,80	0,80	0,60			0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
80	0,80	0,80	0,80	0,60														0,60

R V	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
40	*	*	*	*	*	*	*	*										
50	*	*	*	*	*	*	*	*										
60	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*										
70	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*	*	*
80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
90									0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40

R V	295	300	305	310	315	320	325 a 360	365 a 420
70	*	*	*	*	*	*	*	*
80	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*
90	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*
100					0,60	0,60	0,40	0,40

\* SUPERLARGURA DISPENSÁVEL

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER,1999)

Tabela 5.3: Valores de superlargura para projetos (m)

**PISTA DE 2 FAIXAS – LARGURA = 6,60m**  
**VEÍCULO DE PROJETO = CO**

R V	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
30	2,60	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80
40					1,80	1,60	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80
50										1,40	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00
60																	1,20	1,00

R V	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
30	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
50	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
70					1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
80					1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

R V	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
30	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40
50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
60	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

R V	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355 a 425	430	435	515	520 a 550	555 a 620
30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*						
40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*
50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*
60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40
80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

R V	625 a 680	685 a 840	845 a 1000
40	*	*	*
50	*	*	*
60	0,40	*	*
70	0,40	0,40	*
80	0,40	0,40	0,40

\* SUPERLARGURA DISPENSÁVEL

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER,1999)

Tabela 5.4: Valores de superlargura para projetos (m)

**PISTA DE 2 FAIXAS – LARGURA = 7,20m**  
**VEÍCULO DE PROJETO = SR<sup>1</sup>**

R V	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
30	5,00	4,00	3,60	3,00	2,80	2,40	2,20	2,00	2,00	1,80	1,60	1,60	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,20
40					3,00	2,60	2,40	2,20	2,00	1,80	1,80	1,60	1,60	1,40	1,40	1,40	1,20	1,20
50										2,00	1,80	1,80	1,60	1,60	1,60	1,40	1,40	1,40
60																	1,40	1,40

R V	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200
30	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
40	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60
50	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
60	1,40	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
70							1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
80																	1,00	1,00

R V	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290
30	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*
40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
50	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40
60	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,8	0,8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
90									0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

R V	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355 a 380	385 a 430	435 a 480	480 a 540	545 a 600
30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	0,40	0,40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*	*	*	*
60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	*	*	*	*
70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	*	*	*
80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	*	*
90	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	*	*
100					0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER,1999)

**\* SUPERLARGURA DISPENSÁVEL**

(1) Adotada uma distância entre eixos fictícia de 10,00m e

um balanço dianteiro de 1,20m

## 5.5 PISTAS COM MAIS DE DUAS FAIXAS

No caso de pistas com mais de duas faixas, é necessário majorar proporcionalmente os valores de superlargura para considerar a maior largura da pista. A experiência prática revela, entretanto, que a soma das folgas já contidas na largura básica das faixas de rolamento, especialmente considerando a improbabilidade de emparelhamento de 3 ou 4 caminhões ou ônibus, ainda mais com as dimensões máximas do veículo de projeto (principalmente a distância entre eixos), reduziria em parte as necessidades de superlargura.

O critério recomendado nesta hipótese é o de multiplicar os valores tabelados por 1,25 no caso de pistas com três faixas e por 1,50 no caso de pistas com quatro faixas, com arredondamento conveniente. Os valores recomendados constam da Tabela 5.5.

No caso de pistas de duas faixas dotadas de faixa auxiliar (3ª. faixa ascendente, faixas de aceleração, desaceleração, conversão, entrelaçamento), é dispensável considerar essa faixa no cômputo da superlargura, especialmente quando margeada por acostamento ou faixa de segurança pavimentada.

Tabela 5.5: Valores de superlargura para pistas de 3 ou 4 faixas em função dos valores básicos para pistas de 2 faixas (m)

<b>Valores Básicos Pistas de 2 faixas</b>	3,00	2,80	2,60	2,40	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40
<b>Valores Derivados Pistas de 3 faixas</b>	3,80	3,60	3,20	3,00	2,80	2,60	2,20	2,00	1,80	1,60	1,20	1,00	0,80	0,60
<b>Valores Derivados Pistas de 4 faixas</b>	4,60	4,20	4,00	3,60	3,40	3,00	2,80	2,40	2,20	1,80	1,60	1,20	1,00	0,60

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

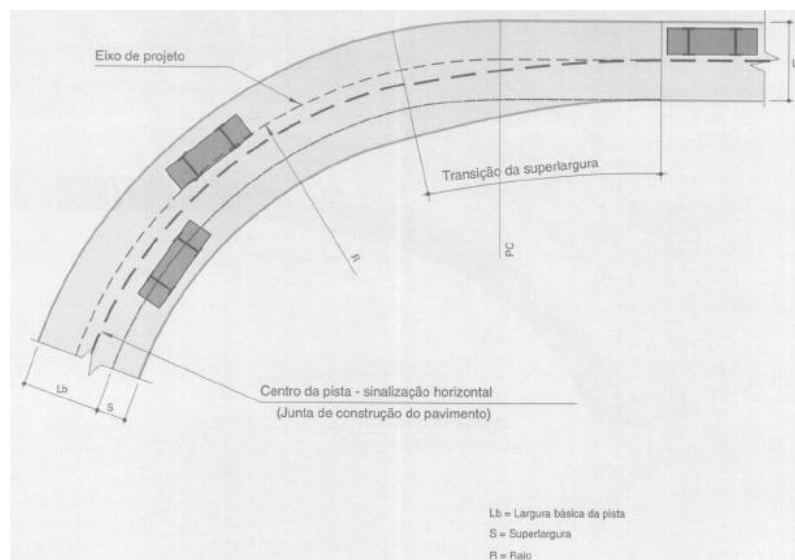
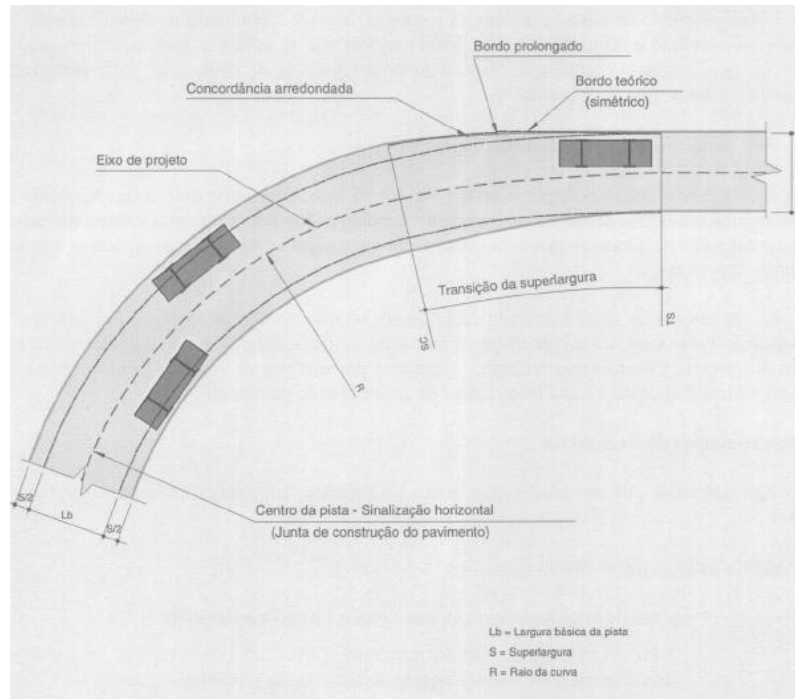
## 5.6 IMPLANTAÇÃO DA SUPERLARGURA

### 5.6.1 DISPOSIÇÃO DA SUPERLARGURA EM PISTA SIMPLES COM DUAS FAIXAS DE ROLAMENTO

A superlargura adotada pode ser disposta metade para cada lado da pista (alargamento simétrico) ou integralmente de um só lado da pista (alargamento assimétrico), convindo realçar que o veículo, ao se posicionar

para percorrer a curva tende a se deslocar para o lado interno da mesma sem previamente procurar compensar tal tendência com um leve movimento para o lado externo.

O alargamento da pista se dará em proporção constante a extensão que, no caso de curva de transição será concomitante com o espaço da transição da curva em planta e no caso de curva circular faz-se coincidir com a transição de toda superelevação.



Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER,1999)

Figura 5.1: Exemplos de superlargura obtida por alargamento simétrico e assimétrico da pista



## 5.7 EXERCÍCIOS DE SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA

5.7.1 - Calcular e representar graficamente a superelevação correspondente a uma curva de transição isolada bem como calcular a superlargura, definindo em tabela apropriada os elementos, estaca por estaca.

Considerar os seguintes elementos:

- Rodovia Classe II (DNER), região ondulada;
- Veículo de projeto CO;
- Velocidade diretriz 70 km/h;
- Definição da curva (a esquerda):
- TSE = est 748 + 12,300m  $\Rightarrow$  ST = est 762 + 2,800m
- $l_c = 100,000m \Rightarrow R = 342,500m$
- Declividade em tangente - dt = 3%;
- Faixa de rolamento = 3,300m (2 faixas);
- Estaqueamento = 20,000m;
- Rotação (giro) pelo eixo.

### RESPOSTA

necessita **SE** pois  $R=342,500m < R_{lim}$ .

$$e_{min} = dt = 3\%$$

$$R_{min} = 167,751m$$

$$e_{max} = 8\%$$

$$R = 342,500m > R_{min}$$

**OK!**

$$f_{max} = 0,15$$

$$e = 5,917$$

$$e = 6\%$$

$$e_{min} < e < e_{max} \quad \text{OK!}$$

A - Valores Mínimos ( $L_{min}$ )

Critério do Máximo Crescimento da Aceleração Centrífuga :  
 $L_{min} = 24,671m$

Critério da Máxima Rampa de Superelevação Admissível:  
 $L_{min} = 36,666m$

Critério do Mínimo Absoluto:  
 $L_{min} = 40,000m$

**Adota-se o maior  $L_{min}$  , ou seja,  $L_{min}=40,000m$**

B - Valores Máximos ( $L_{max}$ )

Critério do Máximo Ângulo Central da Clotóide:

$L_{max} = 342,500m$

Critério do Tempo de Percurso

$L_{min}=154,000m$

**Adota-se o menor  $L_{max}$  , ou seja,  $L_{max}=154,000m$**

$l_c = 100,000m$

$L = 66,667m$

$L_{min}=40,000m < L < L_{max}=154,000m$  **OK!**

$T=33,333m$

est  $PA_1 = \text{est } 748 + 12,300 m$

est  $PN_1 = \text{est } 750 + 5,633 m$

est  $PS_1 = \text{est } 753 + 12,300 m$

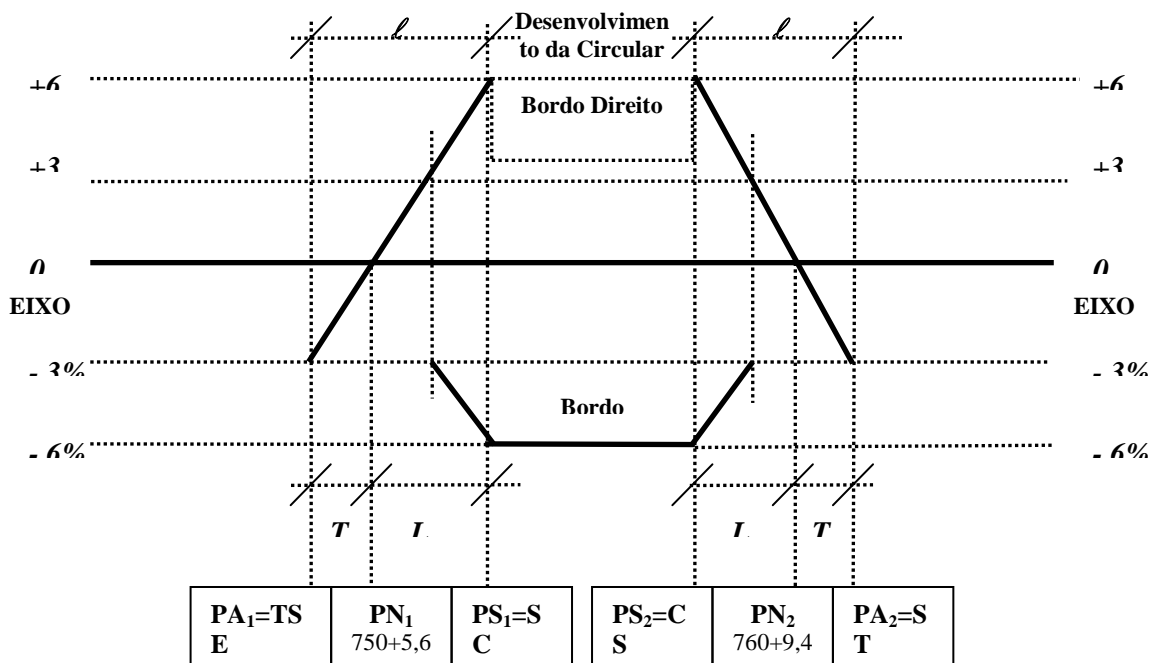
est  $PS_2 = \text{est } CS = \text{est } 757 + 2,800 m$

est  $PN_2 = \text{est } 760 + 9,467 m$

est  $PA_2 = \text{est } 762 + 2,800 m$

$R < 840,000 m$  , portanto necessita  $SL$ , pois  $R=342,500 m$ .

**$SL = 0,60 m$**



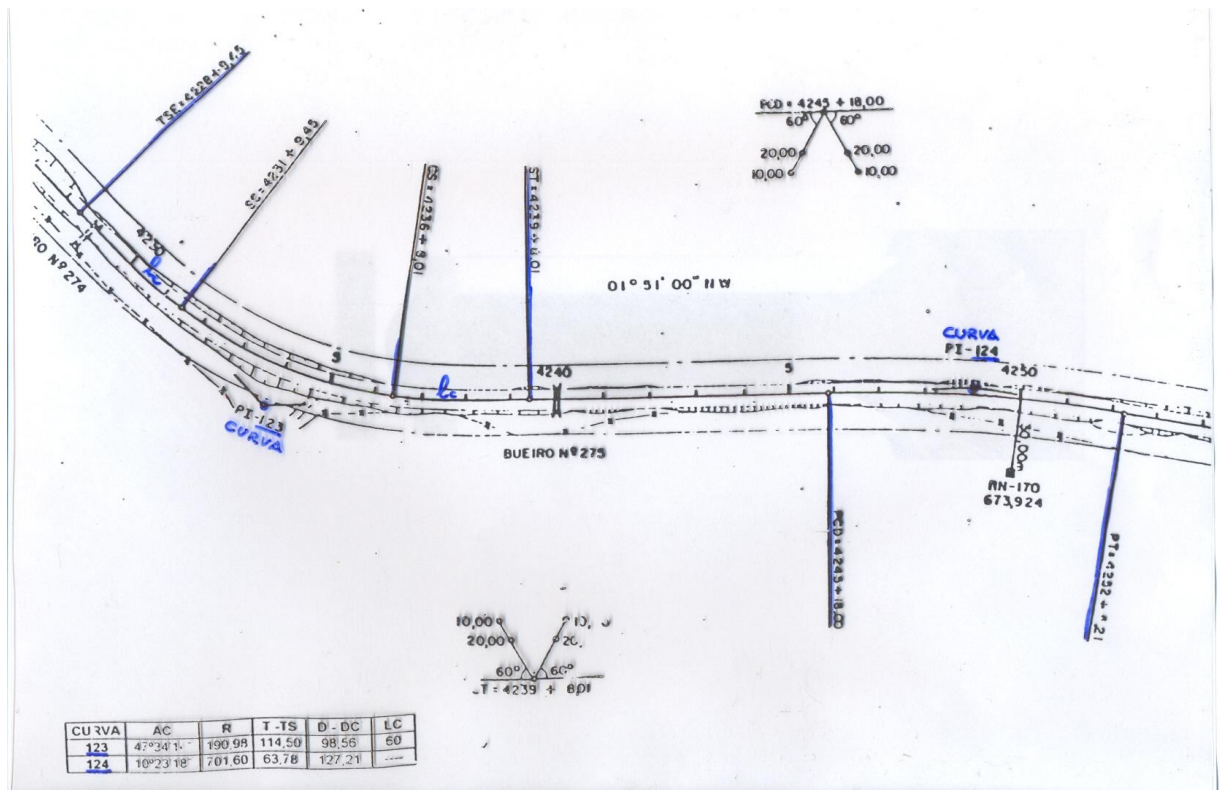
## GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO

Nota de serviço de distribuição da superlargura e da superelevação

NÚMERO ESTACA	PROJ. HORIZ.	SUPERLARGURA				SUPERELEVAÇÃO			
		Semi-plataforma				Semi-plataforma			
		DIST. (m)	ESQUERDA (m)	DIREITA (m)	DIST. (m)	DIST. (m)	ESQUERDA (%)	DIREITA (%)	DIST. (m)
748			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
748+12,300	TSE=PA <sub>1</sub>	0,000	3,30	3,30	0,000	0,000	-3,00	-3,00	0,000
749		7,700	3,32	3,32	7,700	7,700	-3,00	-2,31	7,700
750		27,700	3,38	3,38	27,700	27,700	-3,00	-0,51	27,700
750+5,633	PN <sub>1</sub>	33,333	3,40	3,40	33,333	33,333	-3,00	0,00	33,333
751		47,700	3,44	3,44	47,700	47,700	-3,00	1,29	47,700
752		67,700	3,50	3,50	67,700	67,700	-3,09	3,09	67,700
753		87,700	3,56	3,56	87,700	87,700	-4,89	4,89	87,700
753+12,300	SC=PS <sub>1</sub>	100,000	3,60	3,60	100,000	100,000	-6,00	6,00	100,000
754			3,60	3,60			-6,00	6,00	
755			3,60	3,60			-6,00	6,00	
756			3,60	3,60			-6,00	6,00	
757			3,60	3,60			-6,00	6,00	
757+2,800	CS=PS <sub>2</sub>	100,000	3,60	3,60	100,000	100,000	-6,00	6,00	100,000
758		82,800	3,55	3,55	82,800	82,800	-4,45	4,45	82,800
759		62,800	3,49	3,49	62,800	62,800	-3,00	2,65	62,800
760		42,800	3,43	3,43	42,800	42,800	-3,00	0,85	42,800
760+9,467	PN <sub>2</sub>	33,333	3,40	3,40	33,333	33,333	-3,00	0,00	33,333
761		22,800	3,37	3,37	22,800	22,800	-3,00	-0,95	22,800
762		2,800	3,31	3,31	2,800	2,800	-3,00	-2,75	2,800
762+2,800	ST=PA <sub>2</sub>	0,000	3,30	3,30	0,000	0,000	-3,00	-3,00	0,000

**5.7.2** - Calcular e representar graficamente as superelevações e também calcular a superlargura definindo em tabela apropriada, estaca por estaca, os elementos correspondentes as curvas de um projeto identificadas por Curva 123 e Curva 124, esquematizadas no desenho anexo, considerando:

- a. Rodovia em classe III (DNER); região ondulada
- b. Veículo de projeto CO; velocidade diretriz 60 km/h
- c. Definição da Curva 123 – de transição (a esquerda)
- d. TSE = est 4228 + 9,450m                      ST = est 4239 + 8,010m
- e.  $l_c = 60,000m$     R = 190,980m
- f. Definição da Curva 124 – circular (a direita)
- g. PCD = est 4245 + 18,000m                      PT = est 4252 + 5,210m
- h. R = 701,600m
- i. Declividade em tangente  $dt = 3\%$
- j. Faixa de rolamento = 3,300m (2 faixas)
- k. Rotação (giro) pelo eixo.



**CURVA 123**

est PA<sub>1</sub> = **est 4228+9,450 m**

est PN<sub>1</sub> = **est 4229+7,450 m**

est PS<sub>1</sub> = **est 4231+9,450 m**

est PS<sub>2</sub> = **est 4236+8,010 m**

$$\text{est PN}_2 = \boxed{\text{est } 4238+10,010 \text{ m}}$$

$$\text{est PA}_2 = \boxed{\text{est } 4239+8,010 \text{ m}}$$

$R < 680,000 \text{ m}$  , portanto necessita **SL** pois  $R_{123} = 190,980 \text{ m}$ .

$$\boxed{SL=0,80 \text{ m}}$$

### **CURVA 124**

$$\text{est PA}_1 = \boxed{\text{est } 4243+10,000 \text{ m}}$$

$$\text{est PN}_1 = \boxed{\text{est } 4245 \text{ m}}$$

$$\text{est PS}_1 = \boxed{\text{est } 4246+10,000 \text{ m}}$$

$$\text{est PS}_2 = \boxed{\text{est } 4251+13,210 \text{ m}}$$

$$\text{est PN}_2 = \boxed{\text{est } 4253+3,210 \text{ m}}$$

$$\text{est PA}_2 = \boxed{\text{est } 4254+13,210 \text{ m}}$$

$R_{124} = 701,600 \text{ m} > R_{lim.} = 680,000 \text{ m}$  , portanto não necessita SL

$$D < 0,1(\sqrt{R_1 L_1 + R_2 L_2})$$

$$D_{min} = 17,050 \text{ m}$$

Como  $D > D_{lim}$  , as curvas são consideradas isoladas

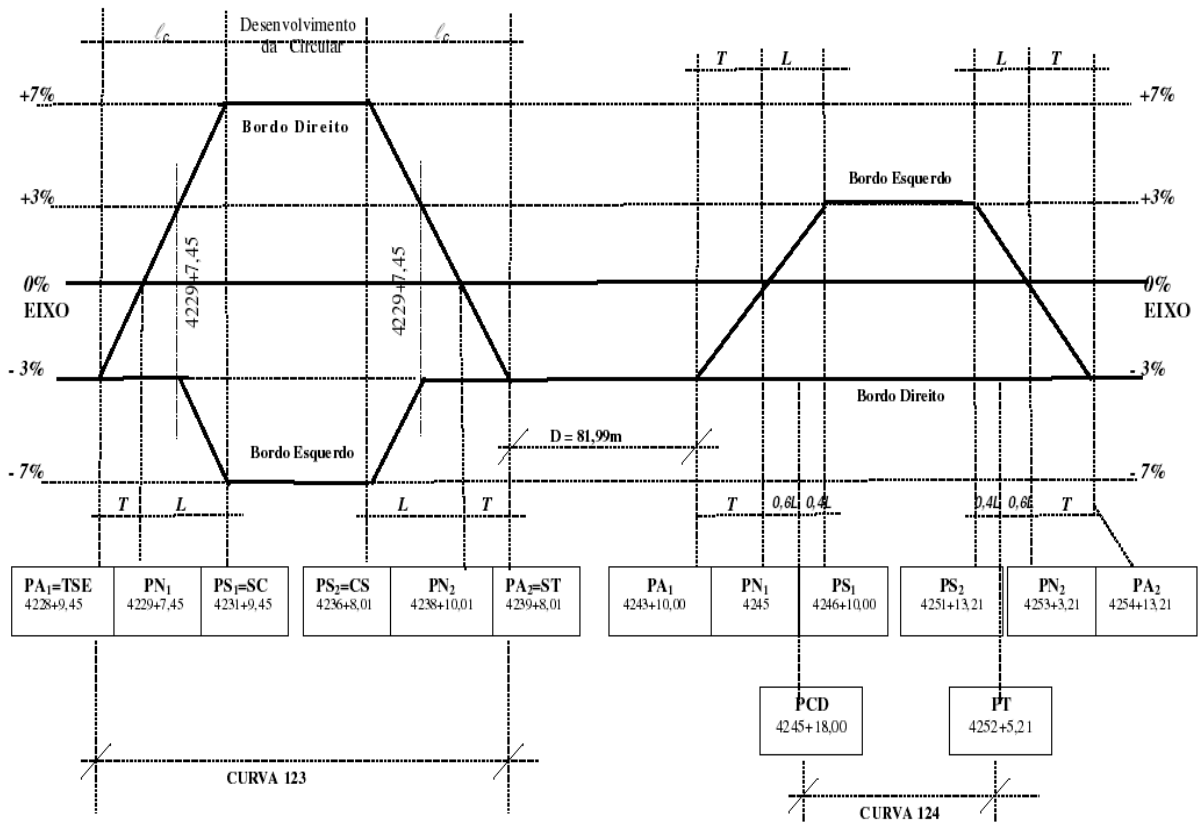


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DA SUPERELEVAÇÃO

Nota de serviço de distribuição da superlargura e da superelevação:

NÚMERO ESTACA	PROJ. HORIZ.	SUPERLARGURA				SUPERELEVAÇÃO			
		Semi-plataforma				Semi-plataforma			
		DIST. (m)	ESQUERDA (m)	DIREITA (m)	DIST. (m)	DIST. (m)	ESQUERDA (%)	DIREITA (%)	DIST. (m)
4228			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
4228+9,45	TSE=PA <sub>1</sub>	0,00	3,30	3,30	0,00	0,00	-3,00	-3,00	0,00
4229		10,55	3,37	3,37	10,55	10,55	-3,00	-1,24	10,55
4229+7,45	PN <sub>1</sub>	18,00	3,42	3,42	18,00	18,00	-3,00	0,00	18,00
4230		30,55	3,50	3,50	30,55	30,55	-3,00	2,09	30,55
4231		50,55	3,64	3,64	50,55	50,55	-5,43	5,43	50,55
4231+9,45	SC=PS <sub>1</sub>	60,00	3,70	3,70	60,00	60,00	-7,00	7,00	60,00
4232			3,70	3,70			-7,00	7,00	
4233			3,70	3,70			-7,00	7,00	
4234			3,70	3,70			-7,00	7,00	
4235			3,70	3,70			-7,00	7,00	
4236			3,70	3,70			-7,00	7,00	
4236+8,01	CS=PS <sub>2</sub>	60,00	3,70	3,70	60,00	60,00	-7,00	7,00	60,00
4237		48,01	3,62	3,62	48,01	48,01	-5,00	5,00	48,01
4238		28,01	3,49	3,49	28,01	28,01	-3,00	1,67	28,01
4238+10,01	PN <sub>2</sub>	18,00	3,42	3,42	18,00	18,00	-3,00	0,00	18,00

	4239		8,01	3,35	3,35	8,01	8,01	-3,00	-1,67	8,01
	4239+8,01	ST=PA <sub>2</sub>	0,00	3,30	3,30	0,00	0,00	-3,00	-3,00	0,00
	4240			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
	4241			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
	4242			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
	4243			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
	4243+10,00	PA <sub>1</sub>		3,30	3,30		0,00	-3,00	-3,00	0,00
	4244			3,30	3,30		10,00	-2,00	-3,00	10,00
	4245	PN <sub>1</sub>		3,30	3,30		30,00	0,00	-3,00	30,00
	4245+18,00	PCD		3,30	3,30		48,00	1,80	-3,00	48,00
4	4246			3,30	3,30		50,00	2,00	-3,00	50,00
2	4246+10,00	PS <sub>1</sub>		3,30	3,30		60,00	3,00	-3,00	60,00
1	4247			3,30	3,30			3,00	-3,00	
	4248			3,30	3,30			3,00	-3,00	
A	4249			3,30	3,30			3,00	-3,00	
V	4250			3,30	3,30			3,00	-3,00	
R	4251			3,30	3,30			3,00	-3,00	
U	4251+13,21	PS <sub>2</sub>		3,30	3,30		60,00	3,00	-3,00	60,00
C	4252			3,30	3,30		53,21	2,32	-3,00	53,21
	4252+5,21	PT		3,30	3,30		48,00	1,80	-3,00	48,00
	4253			3,30	3,30		33,21	0,32	-3,00	33,21
	4253+3,21	PN <sub>2</sub>		3,30	3,30		30,00	0,00	-3,00	30,00
	4254			3,30	3,30		13,21	-1,68	-3,00	13,21
	4254+13,21	PA <sub>2</sub>		3,30	3,30		0,00	-3,00	-3,00	0,00
	4255			3,30	3,30			-3,00	-3,00	
	4256			3,30	3,30			-3,00	-3,00	

## 6. DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE

Um dos fatores mais importantes para a segurança e eficiência operacional de uma via é a sua capacidade de proporcionar boas condições de visibilidade aos motoristas que por ela trafegam.

A visibilidade é limitada pelas mudanças de direção e declividade ao longo de sua extensão, especialmente pelas curvas horizontais nos trechos em corte e pelas curvas verticais, sendo que o motorista deverá dispor de visibilidade, tanto em planta como em perfil, para que possa frear o veículo ante a presença de um obstáculo.

As distâncias de visibilidade básicas para o projeto geométrico são as distâncias de visibilidade de parada e as de ultrapassagem, as quais são funções diretas da velocidade e traduzem os padrões de visibilidade a serem proporcionados ao motorista, de modo que este não sofra limitações visuais diretamente vinculadas às características geométricas da via e possa controlar o veículo a tempo, seja para imobilizá-lo, seja para interromper ou concluir uma ultrapassagem em condições aceitáveis de conforto e segurança.

As distâncias de visibilidade de parada e as de ultrapassagem estão definidas a seguir de acordo com estudos da AASHTO.

## 6.1 DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA

A distância de visibilidade de parada é definida como sendo a distância mínima necessária para que um veículo que percorre uma via possa parar antes de atingir um obstáculo na sua trajetória. Distinguem-se dois grupos de valores mínimos para as distâncias de visibilidade de parada a serem proporcionadas ao motorista: os valores mínimos recomendados e os valores mínimos excepcionais (ou desejáveis). Os valores recomendados representam o caso normal de emprego.

No caso do valor mínimo recomendado, a velocidade efetiva de operação do veículo é reduzida, em condições chuvosas, para um valor médio inferior à velocidade diretriz, de acordo com a Tabela 6.1. A hipótese adotada para obter os valores excepcionais reflete a tendência dos motoristas de trafegarem o mais rápido possível, com uma velocidade igual à velocidade diretriz, mesmo em condições chuvosas.

A distância de visibilidade de parada é a soma de duas parcelas, conforme mostrado na Figura 6.1. A primeira parcela,  $D_1$ , é relativa à distância percorrida pelo veículo no intervalo de tempo entre o instante em que o motorista percebe a existência do obstáculo e o instante em que inicia a frenagem (tempo de percepção e reação). A segunda parcela,  $D_2$ , é relativa à distância percorrida pelo veículo durante o processo de frenagem.

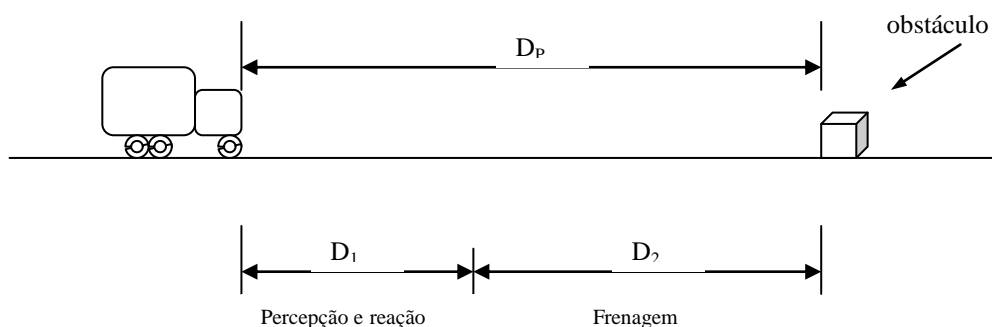


Figura 6.1: Distância de visibilidade de parada.

Fonte: Pontes

Quando um motorista percebe um obstáculo leva um certo tempo para constatar se o objeto é fixo. Esse tempo depende de vários fatores como condições atmosféricas, reflexo do motorista, tipo e cor do obstáculo, e especialmente, atenção do motorista. A AASHTO, baseada em várias experiências, aconselha o uso do valor de 1,5 segundos para esse tempo de percepção. Adicionando-se a esse valor o tempo necessário à reação de frenagem (1,0 seg), tem-se o tempo total de percepção e reação ( $t$ ) = 2,5 segundos.

Como na prática se verifica que em dias chuvosos há uma redução da velocidade média de percurso nos fluxos de trânsito, o DNER estabeleceu para cada velocidade diretriz uma correspondente velocidade média de percurso,



em consequência, para cada uma destas velocidades, foram fixados valores de coeficiente de atrito longitudinal para frenagem  $f_L$ , o que resulta na determinação de duas distâncias de visibilidade de parada para cada velocidade diretriz de acordo com a Tabela 6.1.

Tabela. 6.1: – Distâncias de visibilidade de parada

VELOCIDADES		COEFICIENTES DE ATRITO ( $f_L$ )		DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE PARADA ( $i = 0\%$ )	
Diretriz (V) Km/h	Média de Percurso ( $V_m$ ) Km/h	Para V	Para $V_m$	DESEJÁVEL (para V) m	MÍNIMA (para $V_m$ ) m
30	30	0,40	0,40	30	30
40	38	0,38	0,39	45	45
50	46	0,35	0,36	65	60
60	54	0,33	0,34	85	75
70	62	0,31	0,33	110	90
80	70	0,30	0,31	140	110
90	78	0,30	0,30	175	130
100	86	0,29	0,30	210	155
110	92	0,28	0,30	255	180
120	98	0,27	0,29	310	205

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER,1999)

Em todos os cálculos envolvendo a distância de visibilidade de parada, recomenda-se adotar 1,10 metros como a altura dos olhos do motorista em relação ao plano da pista e 0,15 metros como a menor altura de um obstáculo que o obrigue a parar. A distância de visibilidade de parada é utilizada nas interseções, nos semáforos e nas curvas verticais, entre outras aplicações.

Em projetos de vias urbanas a AASHTO recomenda como mínima distância de visibilidade de parada valores entre 30 a 60 metros, dependendo da velocidade diretriz.

## 6.2 DISTANCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM

É a distância que deve ser proporcionada ao veículo, numa pista simples e de mão dupla para que, quando estiver trafegando atrás de um veículo mais lento, possa efetuar uma manobra de ultrapassagem em condições aceitáveis de segurança e conforto.

Em rodovias de pista simples e mão dupla, torna-se necessário proporcionar, a intervalos tão freqüentes quanto possíveis, trechos com a distância de visibilidade de ultrapassagem. A freqüência dos trechos que

proporcionam visibilidade de ultrapassagem, bem como sua extensão, é restringida pelos custos de construção decorrentes.

Porém, quanto mais elevados forem os volumes de tráfego, mais longos e freqüentes deverão ser os trechos com essa característica, sob pena do nível de serviço da rodovia cair sensivelmente em conseqüência da redução da capacidade.

É recomendado que devam existir trechos com visibilidade de ultrapassagem a cada 1,5 a 3,0 quilômetros e tão extenso quanto possível. É sempre desejável que sejam proporcionadas distâncias superiores, aumentando as oportunidades de ultrapassagem e o número de veículos que realizam de cada vez.

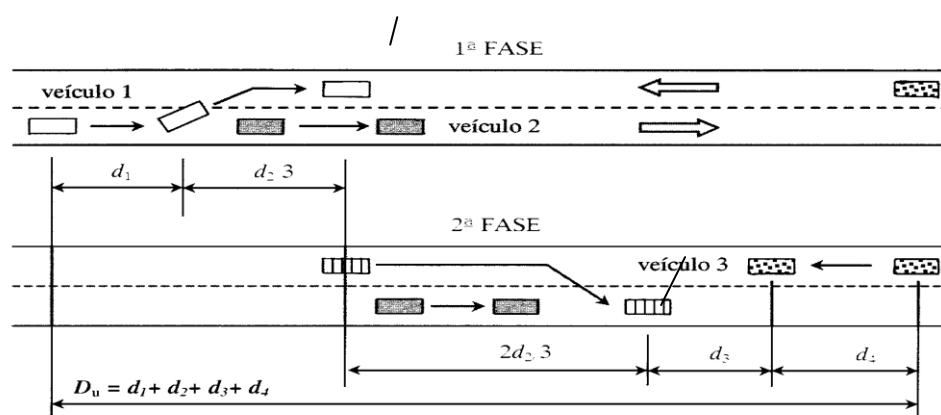


Figura 6.2: Esquema de Ultrapassagem

Fonte: Pimenta

onde:

$d_1$  = distância percorrida durante o tempo de percepção, reação e aceleração inicial.

$d_2$  = distância percorrida pelo veículo 1 enquanto ocupa a faixa oposta.

$d_3$  = distância de segurança entre os veículos 1 e 3, no final da manobra.

$d_4$  = distância percorrida pelo veículo 3 que trafega no sentido oposto.

Os valores da distância de visibilidade de ultrapassagem recomendados pelo DNER estão resumidos na Tabela 6.2 e se referem a pistas com greides em nível.

Tabela 6.2: Distâncias de Visibilidade de Ultrapassagem ( $D_u$ )

$V$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
$D_u$ (m)	180	270	350	420	490	560	620	680

Fonte: Manual de projeto geométrico (DNER, 1999)

As *Distâncias Mínimas de Visibilidade de Ultrapassagem* são utilizadas para fins de verificação das condições geométricas dos traçados de rodovias em pistas simples, com 2 sentidos de percurso, para assinalamento, em cada sentido, dos segmentos onde as ultrapassagens são proibidas.

## 7. CURVAS VERTICAIS

Curva vertical é a denominação prática da curva adotada no plano vertical longitudinal do projeto geométrico cuja nomenclatura técnica específica como *CURVA DE CONCORDÂNCIA VERTICAL* ou *CURVA VERTICAL DE CONCORDÂNCIA*.

### 7.1 INTRODUÇÃO

Do mesmo modo que ocorre em planta, o projeto de uma estrada com base na diretriz pré-definida em perfil longitudinal, denominado **greide**, é composto por trechos retilíneos criteriosamente estudados que deverão ser concordados por curvas escolhidas e calculadas de forma a evitar choques mecânicos bruscos nos pontos de mudança de inclinação resultando num projeto que proporcione segurança, conforto de operação, aparência agradável de traçado e drenagem adequada. Podem ser dispensadas curvas verticais quando a diferença algébrica entre as rampas contíguas for inferior a 0,5%.

O greide para ruas residenciais deve ser o máximo possível em nível, compatível com as áreas adjacentes. Quando necessário, as inclinações das rampas devem ser inferiores a 15%, observadas as condições de drenagem. Para vias localizadas em áreas comerciais e industriais, o projeto em perfil deve ter rampas com inclinações menores que 8%, sendo desejáveis taxas de 5%. Para proporcionar um sistema de drenagem apropriado, o greide em vias dotadas de meio-fio deve assegurar uma taxa mínima de 0,3%.

Os trechos retos do greide são chamados de:

**Rampas ou Aclives:** no sentido crescente do estaqueamento a altura dos pontos vai aumentando, considerada inclinação positiva.

**Contra-rampa ou Declive:** quando a altura dos pontos vai diminuindo, considerada inclinação negativa.

**Patamares ou Trecho em Nível:** quando o trecho mantém-se na horizontal, definida inclinação nula.

## 7.2 DEFINIÇÃO DO TIPO DE CURVA VERTICAL

Na definição de uma curva de concordância entre dois alinhamentos do greide, visando suavizar os efeitos decorrentes da passagem brusca de uma inclinação para outra, diversas curvas poderiam ser empregadas, com resultados bastante semelhantes sob o ponto de vista técnico, podendo ser:

- Parábola do 2º grau
- Curva circular
- Elipse
- Parábola cúbica

Como a configuração de um segmento destas curvas de grandes raios é muito semelhante, a escolha deve ser baseada na aplicação prática, com análise das equações envolvidas e necessidade de tabelas especiais, onde se busca a simplicidade de cálculo agregada a sua aplicabilidade.

A curva de concordância que melhor se adapta as necessidades práticas de projeto é a Parábola do 2º grau.

### 7.2.1 VANTAGENS DA PARÁBOLA DO 2º GRAU

Algumas vantagens de ordem prática da parábola do 2º grau se destacam em relação a outras curvas e são assinaladas a seguir:

- a) A variação da declividade de greide é constante ao longo da curva. A parábola é expressa genericamente pela equação.

$$y = Z * x^2$$

- b) Pode-se empregar curvas parabólicas compostas para melhor adaptação ao terreno.
- c) Possibilidade de se colocar o início e o fim da curva numa estaca inteira ou intermediária, 10m ou 5m, o que permite maior precisão na construção da curva no terreno.

- d) Não há necessidade de tabelas ou gabaritos; pode-se criar tabelas para curvas convexas, em função da visibilidade, de fácil aplicação no projeto e no cálculo das cotas do greide.
- e) Facilidade para desenho da curva.
- f) Facilidade no cálculo da cota de qualquer estaca intermediária.
- g) Equações simples e propriedades adequadas.

No entanto, há uma desvantagem pelo fato da curva parabólica não ser uma curva de transição, mantendo o raio constante; para minimizar tal desvantagem, aplicam-se raios sempre maiores que 600 m.

### **7.2.2 PROPRIEDADES DA PARÁBOLA**

Algumas propriedades da parábola do 2º grau fornecem um maior entendimento da sua aplicabilidade, como segue:

1. Todos os diâmetros de uma parábola são paralelos ao eixo da curva.
2. Estabelecendo duas tangentes a uma parábola em função de dois pontos quaisquer e ligando o ponto de encontro dessas tangentes (**PI**) ao meio da corda que liga os dois pontos em questão, tem-se definida uma reta que é um diâmetro da curva.
3. A equação da parábola é referenciada a um sistema oblíquo de coordenadas, que tem origem em um ponto qualquer da curva, sendo o eixo das abscissas (**x**) a tangente a curva no ponto considerado e o eixo das ordenadas (**y**) o diâmetro da parábola que passa pelo mesmo ponto, expressa por  $y = Z * x^2$ , onde a ordenada é diretamente proporcional ao quadrado da abscissa.
4. A parábola divide ao meio o segmento compreendido entre o ponto de encontro de duas tangentes (**PI**) por dois pontos da curva e o ponto mediano da corda que une estes pontos da curva.
5. Pelo ponto de encontro de um diâmetro com a parábola, traçando-se uma paralela à corda, esta paralela será tangente a parábola nesse ponto.

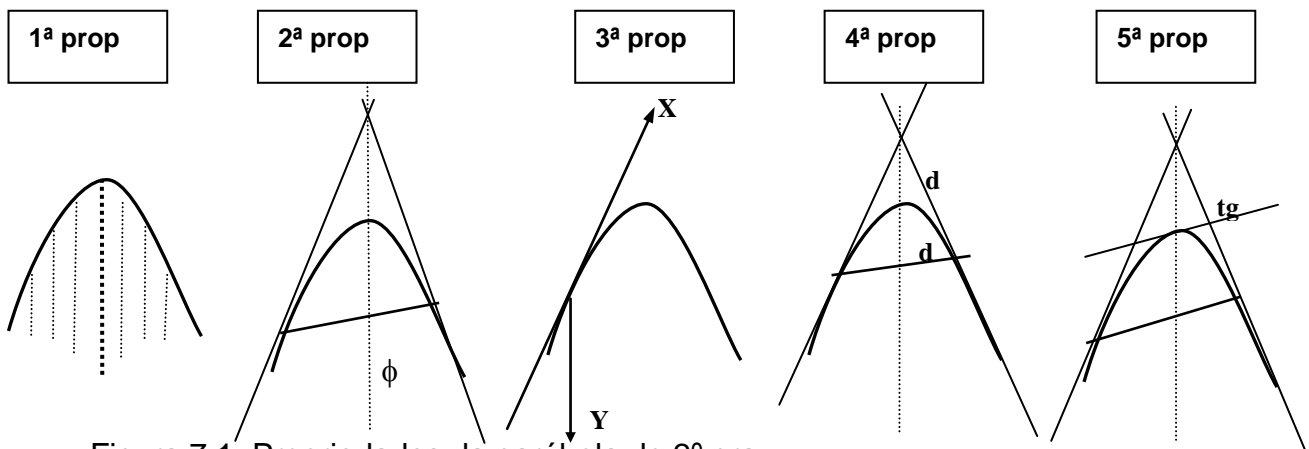


Figura 7.1: Propriedades da parábola do 2º grau  
 Fonte: Pimeta

## 7.3 ESTUDO DA PARÁBOLA DO 2º GRAU

### 7.3.1 PONTOS E ELEMENTOS DA PARÁBOLA

Percorrendo-se o greide no sentido crescente do estaqueamento, pode-se definir alguns pontos e elementos da parábola como se apresentam:

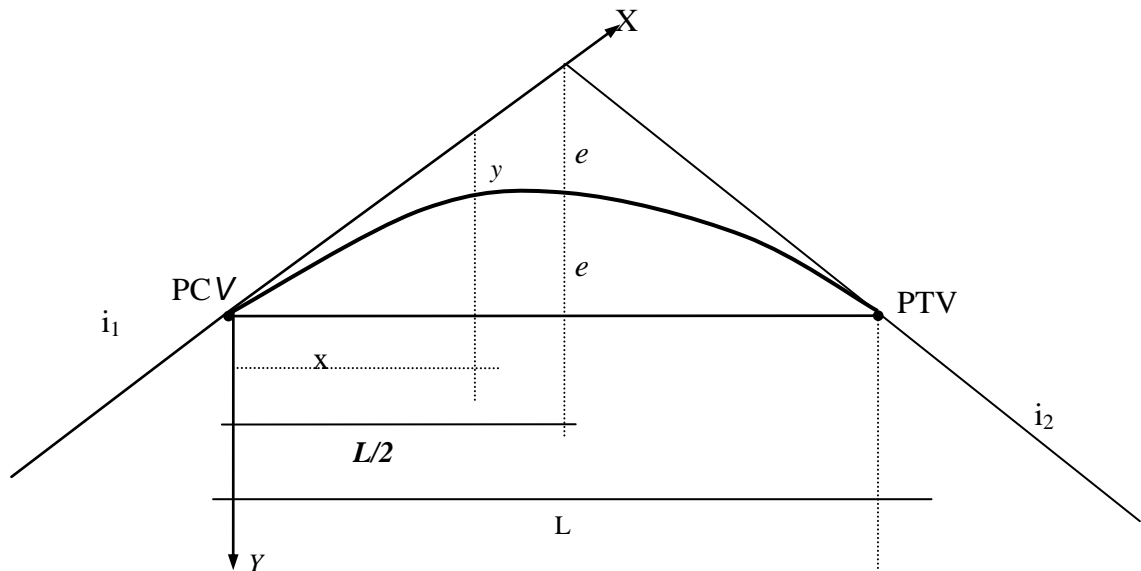


Figura 7.2: Pontos e elementos da parábola  
 Fonte: Pimenta

**PCV - Ponto de Curva Vertical:** ponto de contato onde termina o primeiro trecho de inclinação constante e começa a curva vertical.

**PIV - Ponto de Interseção Vertical:** ponto de encontro do prolongamento dos trechos retos; também pode ser designado como ponto de mudança de greide (PMG).

**PTV - Ponto de Tangência Vertical:** ponto de contato onde termina a curva vertical e começa o segundo trecho de inclinação constante.

**L - Corda Máxima da Parábola:** distância entre o PCV e o PTV, projetada ortogonalmente sobre a referência horizontal, correspondendo ao comprimento da curva vertical.

**Eixos X,Y** - Sistema oblíquo de eixos coordenados.

**x - Abscissa:** abscissa de um ponto qualquer da curva, sempre expressa em número de estacas.

**y - Ordenada:** ordenada de um ponto qualquer da curva, correspondendo a distância, paralela ao eixo Y, entre o eixo X e o ponto da curva.

**R - Raio:** raio da curva parabólica no eixo.

**e - Ordenada máxima:** distância vertical entre o PIV e a curva, também chamada de “flecha máxima”.

**$i_1$  - Primeira Inclinação:** inclinação do primeiro trecho de inclinação constante a ser concordado através da curva vertical; é expressa em porcentagem, sendo considerada positiva quando for rampa e negativa quando for contra-rampa.

**$i_2$  - Segunda Inclinação:** inclinação do segundo trecho de inclinação constante, também expresso em porcentagem positiva ou negativa.

**$j = \Delta_i$  - Diferença de Inclinações:** diferença algébrica entre as inclinações do primeiro e segundo trecho de inclinação constante.

## 7.4 CÁLCULO DA PARÁBOLA

### A) DIFERENÇA DAS INCLINAÇÕES

É a diferença algébrica entre  $i_1$  e  $i_2$ , portanto considerando os respectivos sinais, sendo  $i_1$  o primeiro trecho de inclinação constante no sentido crescente do estaqueamento e  $i_2$  o segundo trecho de inclinação constante.

$$j = \Delta_i = i_1 - i_2$$

A análise do valor de  $j$  nos permite definir o tipo de curva que iremos calcular, do seguinte modo:

- $j < 0$  - a curva será côncava (concavidade voltada para baixo - depressão);
- $j > 0$  - a curva será convexa (concavidade voltada para cima - lombada).



**B) CORDA MÁXIMA (L)**

A corda máxima pode ser pré-estabelecida ou arbitrada em conformidade com as demais condições estabelecidas para curva como a ordenada máxima e/ou o raio. Para tanto, o valor final de **L** deve verificar as equações abaixo, as quais exprimem a relação existente entre o comprimento da curva (**L**), o raio da curva (**R**), a ordenada máxima (**e**) e também a diferença de inclinações (**j**).

$$L = \frac{8 * e}{j}$$

$$L = R * j$$

Se possível, é interessante e muito prático o ajuste do comprimento da curva de forma a projetar os pontos principais da curva recaindo em estacas inteiras; assim, usualmente o valor de **L** é arredondado a maior para múltiplo do *dobro* do estaqueamento.

O comprimento da corda máxima esta diretamente ligado a distância de visibilidade de parada. Seu valor mínimo é expresso pela fórmula

$$L_{min} = 100 * j * K$$

Como este mínimo valor do comprimento da curva vertical é resultante da análise da concavidade da curva e da distância de visibilidade de parada, o parâmetro **K** é definido da seguinte forma:

**CURVA CONVEXA** - este critério considera que um motorista, com seu campo de visão situado a 1,10m acima da pista, enxergue um objeto com 0,15m de altura em repouso sobre a pista. O valor mínimo da corda é definido pela expressão

$$K = \frac{D_p^2}{412}$$

**CURVA CÔNCAVA** - durante o dia, ou pistas com iluminação artificial, de modo geral não ocorrem problemas de visibilidade; nas pistas não iluminadas aplica-se o critério de visibilidade noturna, ou seja, a pista deve ser iluminada em extensão igual a distância de visibilidade de parada pela luz do farol do veículo, colocado a 0,61m acima do plano da pista. A fórmula aplicável é a seguinte

$$K = \frac{D_p^2}{(122 + 3,5 * D_p)}$$

Obs.: As Normas Técnicas limitam em 40,00m o mínimo valor do comprimento da curva vertical parabólica (**L**), independente do critério a ser adotado.

## C) RAI0

Da mesma forma que  $L$ , o raio pode ser pré-estabelecido, arbitrado ou ser resultante da definição dos outros elementos da curva, respeitadas as expressões vistas, onde isolado o valor de  $R$  teremos a mesma expressão da forma:

$$R = \frac{L}{j}$$

## D) ORDENADA MÁXIMA

Também pode ser pré-estabelecida, arbitrada ou ser resultante da definição dos outros elementos da curva, respeitadas as expressões vistas, onde isolado o valor de  $e$  teremos a mesma expressão da forma:

$$e = \frac{j * L}{8}$$

## E) EXPRESSÃO DA PARÁBOLA

A expressão genérica que define uma parábola do segundo grau é

$$y = Z * x^2$$

onde a constante  $Z$  é oriunda da seguinte relação

$$Z = \frac{4 * e}{L^2}$$

Desta forma, podemos expressar a parábola pela fórmula:

$$y = \frac{4 * e * x^2}{L^2}$$

Para aplicação destas expressões, é importante observar que os valores de  $x$  e  $L$  devem ser expressos em **metros**.

## F) PONTO MAIS ALTO OU MAIS BAIXO DA PARÁBOLA

A determinação do ponto mais alto ou baixo da curva, seja convexa ou côncava respectivamente, é de grande interesse na fase do projeto de drenagem e na fase de construção da obra para a implantação de coletores, saídas de água e outros dispositivos, bem como orientação para delimitação das sarjetas.

A distância  $d$  dada pela expressão abaixo, corresponde a distância do **PCV** até o ponto mais alto ou baixo em questão.

$$d = \frac{i_1 * L}{j}$$

Observa-se que o ponto mais alto ou baixo estará sempre do lado da curva correspondente a rampa de menor valor absoluto. Somente quando as rampas tiverem o mesmo valor absoluto é que estes pontos estarão no eixo central da curva.

## 7.5 SISTEMAS DE EIXOS

A curva parabólica vertical pode ser referenciada a um sistema oblíquo de eixos coordenados com origem no **PCV** ou a dois sistemas oblíquos de eixos coordenados, dispostos simetricamente, com origens no **PCV** e no **PTV**; não há parâmetros que possam definir um sistema melhor ou mais prático que outro, ficando a escolha dependente das condições de apresentação do projeto ou, o que é mais comum, não havendo qualquer orientação, a escolha é totalmente de caráter pessoal do projetista.

**Sistema único de eixos coordenados** - consiste na adoção de um sistema de eixos com origem no **PCV**, a partir de onde se definirá toda a curva. A vantagem é trabalhar com só um eixo, com a desvantagem de calcular todos os pontos de variação de  $X$ .

**Sistema duplo de eixos coordenados** - consiste na adoção de um sistema de eixos com origem no **PCV**, que definirá metade da curva e um outro sistema de eixos simétrico, com origem no **PTV**, definindo a outra metade da curva, porém no sentido contrário do estaqueamento. A vantagem é calcular apenas a metade dos pontos de variação de  $X$ , com a desvantagem de se trabalhar com dois sistemas de eixos com sentidos contrários.

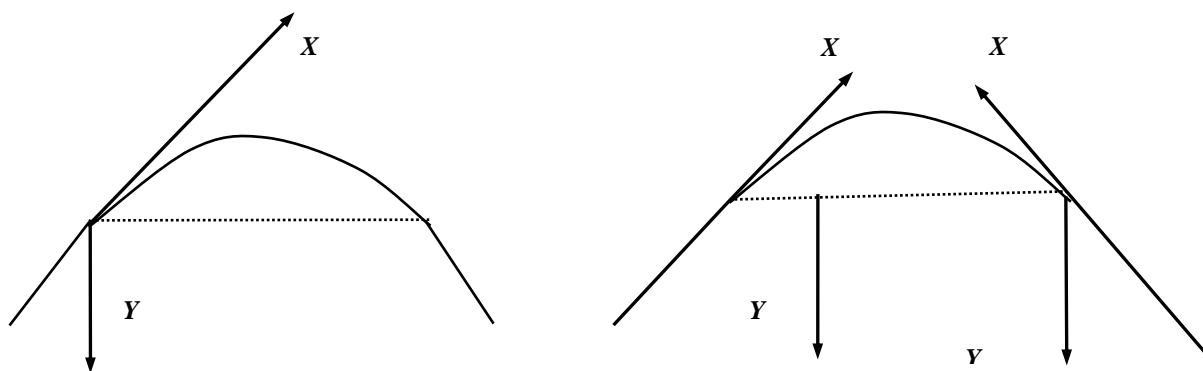


Figura 7.3: Sistemas de eixos  
Fonte: Pontes

As fórmulas de cálculo, bem como as considerações, são válidas tanto para um sistema quanto para outro, sendo que para o sistema único calcula-se toda a curva na ordem crescente do estaqueamento e para o sistema duplo calcula-se metade da curva e considera-se a simetria para a outra metade, porém no sentido contrário ao estaqueamento; com base em um dos elementos da curva, pré-estabelecido ou arbitrado, são calculados os demais. Ajustado o valor de  $L$  e recalculados todos os elementos, deve-se obter exatamente os mesmos resultados tanto num quanto no outro sistema de eixos.

Didaticamente, adotaremos somente o **Sistema Único** de eixos coordenados.

## 7.6 SEQÜÊNCIA DE PROCEDIMENTOS PARA PROJETOS

Para o desenvolvimento de um projeto com referência a curvas verticais, apresentamos, de forma resumida, a seqüência de procedimentos para o cálculo de cada curva, da forma como segue:

1. Conhecidas as inclinações constantes de dois alinhamentos consecutivos, calcula-se a diferença algébrica destas inclinações

$$j = \Delta_i = i_1 - i_2$$

2. Determinação do tipo de curva em função de  $j$

$$j < 0 \quad \text{curva c\^o}ncava$$

$$j > 0 \quad \text{curva convexa}$$

3. Definição do comprimento mínimo da parábola em função da distância de visibilidade e ajuste

$$L_{min} = 100 * j * K$$

curva convexa

$$K = \frac{D_p^2}{412}$$

curva c\^o}ncava

$$K = \frac{D_p^2}{(122 + 3,5 * D_p)}$$

4. Definição de um elemento inicial de cálculo com base nas condições estabelecidas no projeto ou simplesmente arbitrando-se valores.

5. Cálculo dos demais elementos mantendo-se as relações

$$L = \frac{8 * e}{j}$$

$$L = R * j$$

$$e = \frac{j * L}{8}$$

$$R = \frac{L}{j}$$

6. Se necessário, efetuar verificações e ajustes destes elementos.

7. Cálculo do valor de **Z**

$$Z = \frac{4 * e}{L^2}$$

8. Definição da expressão da parábola

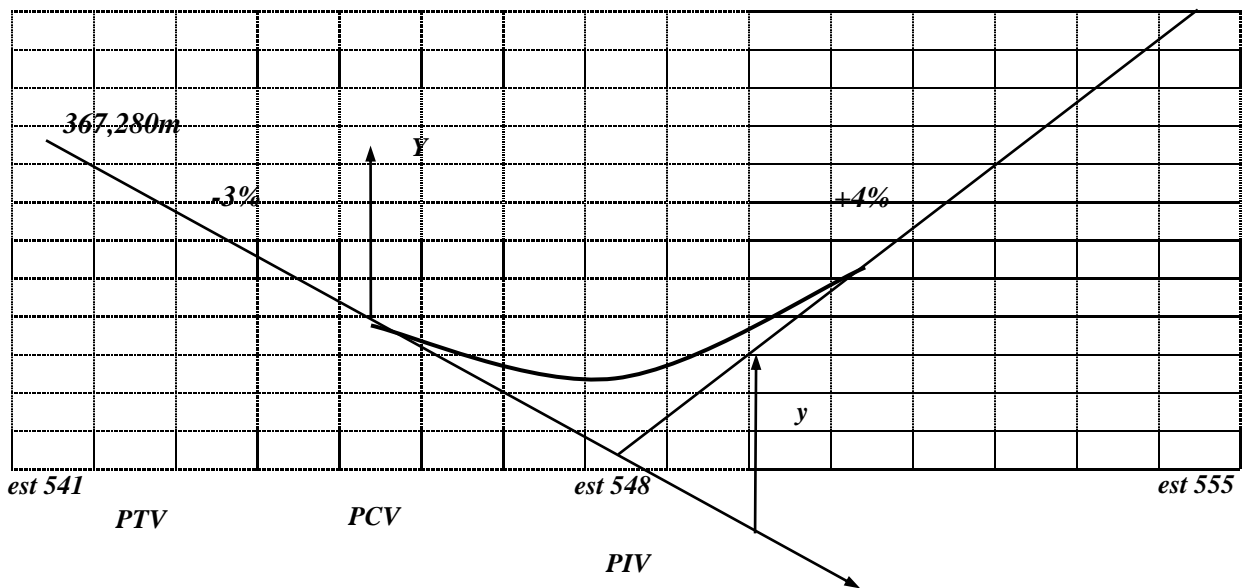
$$y = Z * x^2$$

9. Cálculo dos valores de **y** para cada valor atribuído a **x**; sendo que **x** varia de 0 (no **PCV**) até o comprimento da corda **L** (no **PTV**) para um sistema de eixos, e até a metade do comprimento da corda (**L/2**) (no **PIV**) para sistema duplo de eixos.

10. Partindo de uma estaca com cota conhecida, determinar as cotas das estacas dos pontos da curva; para tanto, determinamos as cotas dos trechos retos e aplicamos as ordenadas **y** calculadas observando a concavidade da curva.

## 7.7 EXERCÍCIOS

7.7.1 - Calcular as altitudes de uma porção de greide, sabendo-se que um primeiro trecho de inclinação constante com -3% (contra-rampa) tem como referência inicial a estaca 541 com cota 367,280m e final a estaca 548; o segundo trecho de inclinação constante com 4% (rampa) tem referência inicial na estaca 548 e final na estaca 555. Para o cálculo da curva vertical de concordância entre os dois trechos deve-se considerar um sistema único de eixos no PCV, estaqueamento de 20,000m, raio mínimo de 700,000m, distância de visibilidade de parada de 75,000m e pontos principais recaindo em estacas inteiras.



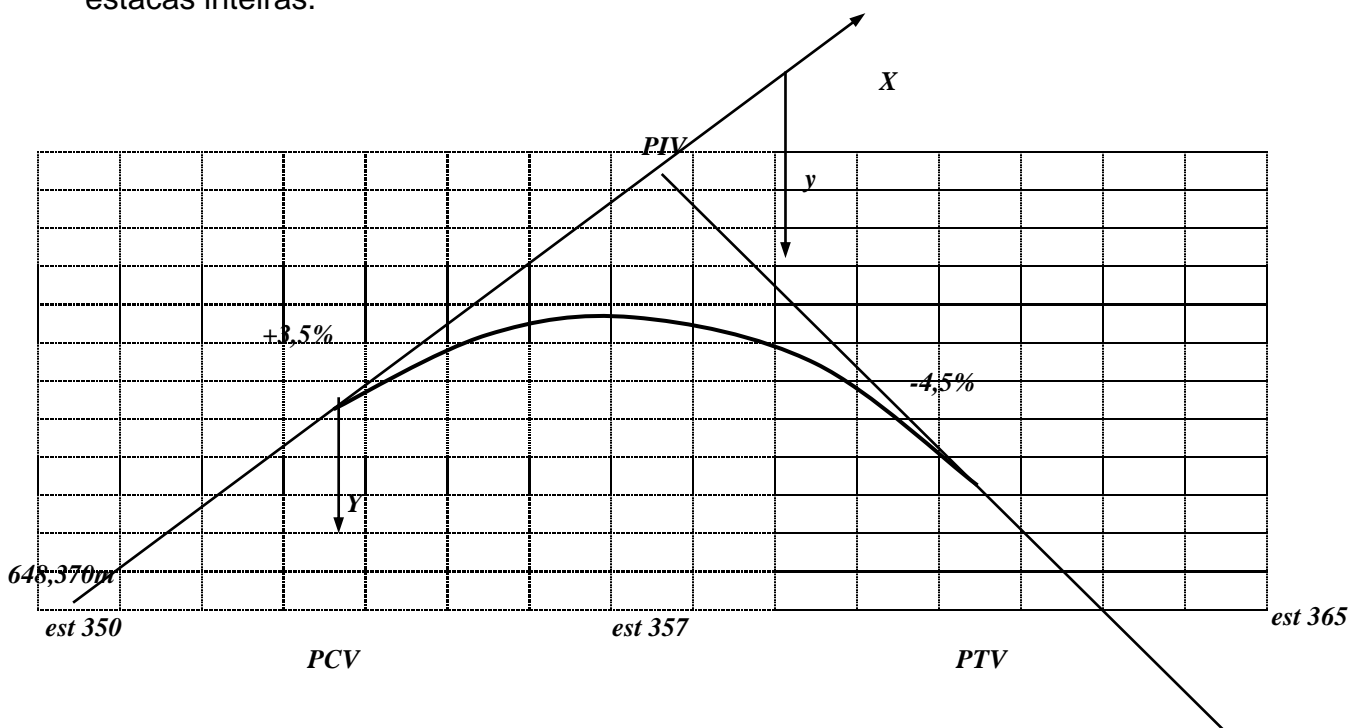
### RESPOSTA

$J = -0,07$	$e = 1,05\text{m}$
$j < 0$ (curva côncava)	$z = 0,000291667\text{m}$
$K = 14,629\text{m}$	$y = 0,000291667 * x^2$
$L = 120\text{m}$ (6 estacas)	$d = 51,429\text{m}$ do Pcv ESTACA 547 + 11,429m
$R = 1714,286\text{m}$	PCV = 545est
	PIV = 548est
	PTV = 551est

NOTA DE SERVIÇO

ESTACA	PONTO	DISTÂNCIA (x) em metros	COTAS NO EIXO X	$y=0,000291667 \cdot x^2$	COTAS DO GREIDE
541					367,280
542					366,680
543					366,080
544					365,480
<b>545</b>	<b>PCV</b>	<b>0</b>	<b>364,880</b>	<b>0</b>	<b>364,880</b>
<b>546</b>		<b>20</b>	<b>364,280</b>	<b>0,117</b>	<b>364,397</b>
<b>547</b>		<b>40</b>	<b>363,680</b>	<b>0,467</b>	<b>364,147</b>
<b>548</b>	<b>PIV</b>	<b>60</b>	<b>363,080</b>	<b>1,051</b>	<b>364,131</b>
<b>549</b>		<b>80</b>	<b>362,480</b>	<b>1,868</b>	<b>364,348</b>
<b>550</b>		<b>100</b>	<b>361,880</b>	<b>2,917</b>	<b>364,797</b>
<b>551</b>	<b>PTV</b>	<b>120</b>	<b>361,280</b>	<b>4,205</b>	<b>365,485</b>
552					366,280
553					367,080
554					367,880
555					368,680

7.7.2 - Calcular as altitudes do greide desde a estaca 350, que tem cota 648,370m, até a estaca 365, sabendo-se que a uma rampa de +3,5% segue-se uma contra-rampa de -4,5% com o PIV na estaca 357. Considerar um sistema único de eixos no PCV, espaçamento de 20,000m, raio mínimo de 800,000m, distância de visibilidade de parada de 90,000m e pontos principais recaindo em estacas inteiras.



## RESPOSTA

J=+0,08	e= 1,60m
$j > 0$ (curva convexa)	z=0,00025m
Lmin= 19,660m	$y=0,00025*x^2$
L=160m (8 estacas)	d= 70m do Pcv ESTACA 356 + 10,0m
R= 2000m	PCV = 353est
	PIV = 357est
	PTV = 361est

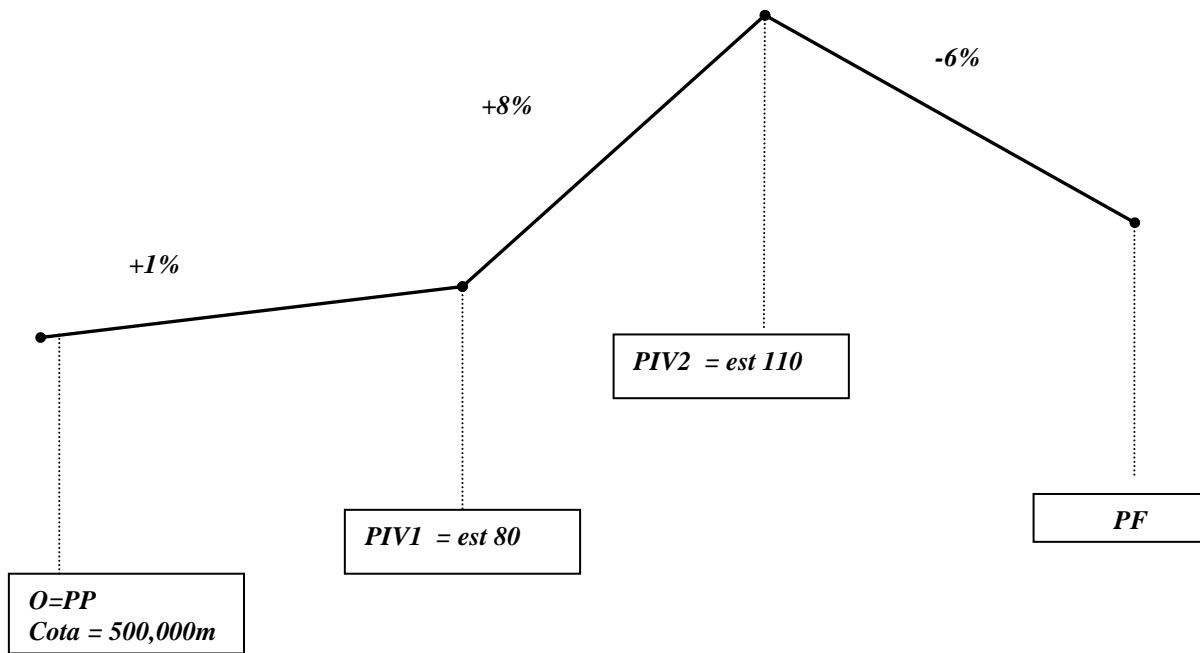
## NOTA DE SERVIÇO

ESTACA	PONTO	DISTÂNCIA (x) em metros	COTAS NO EIXO X	$y=0,00025x^2$	COTAS DO GREIDE
350					648,370
351					649,070
352					649,770
<b>353</b>	<b>PCV</b>	<b>0</b>	<b>650,470</b>	<b>0</b>	<b>650,470</b>
<b>354</b>		<b>20</b>	<b>651,170</b>	<b>0,100</b>	<b>651,070</b>
<b>355</b>		<b>40</b>	<b>651,870</b>	<b>0,400</b>	<b>651,470</b>
<b>356</b>		<b>60</b>	<b>652,570</b>	<b>0,900</b>	<b>651,670</b>
<b>357</b>	<b>PIV</b>	<b>80</b>	<b>653,270</b>	<b>1,600</b>	<b>651,670</b>
<b>358</b>		<b>100</b>	<b>653,970</b>	<b>2,500</b>	<b>651,470</b>
<b>359</b>		<b>120</b>	<b>654,670</b>	<b>3,600</b>	<b>651,070</b>
<b>360</b>		<b>140</b>	<b>655,370</b>	<b>4,900</b>	<b>650,470</b>
<b>361</b>	<b>PTV</b>	<b>160</b>	<b>656,070</b>	<b>6,400</b>	<b>649,670</b>
362					648,770



363				647,870
364				646,970
365				646,070

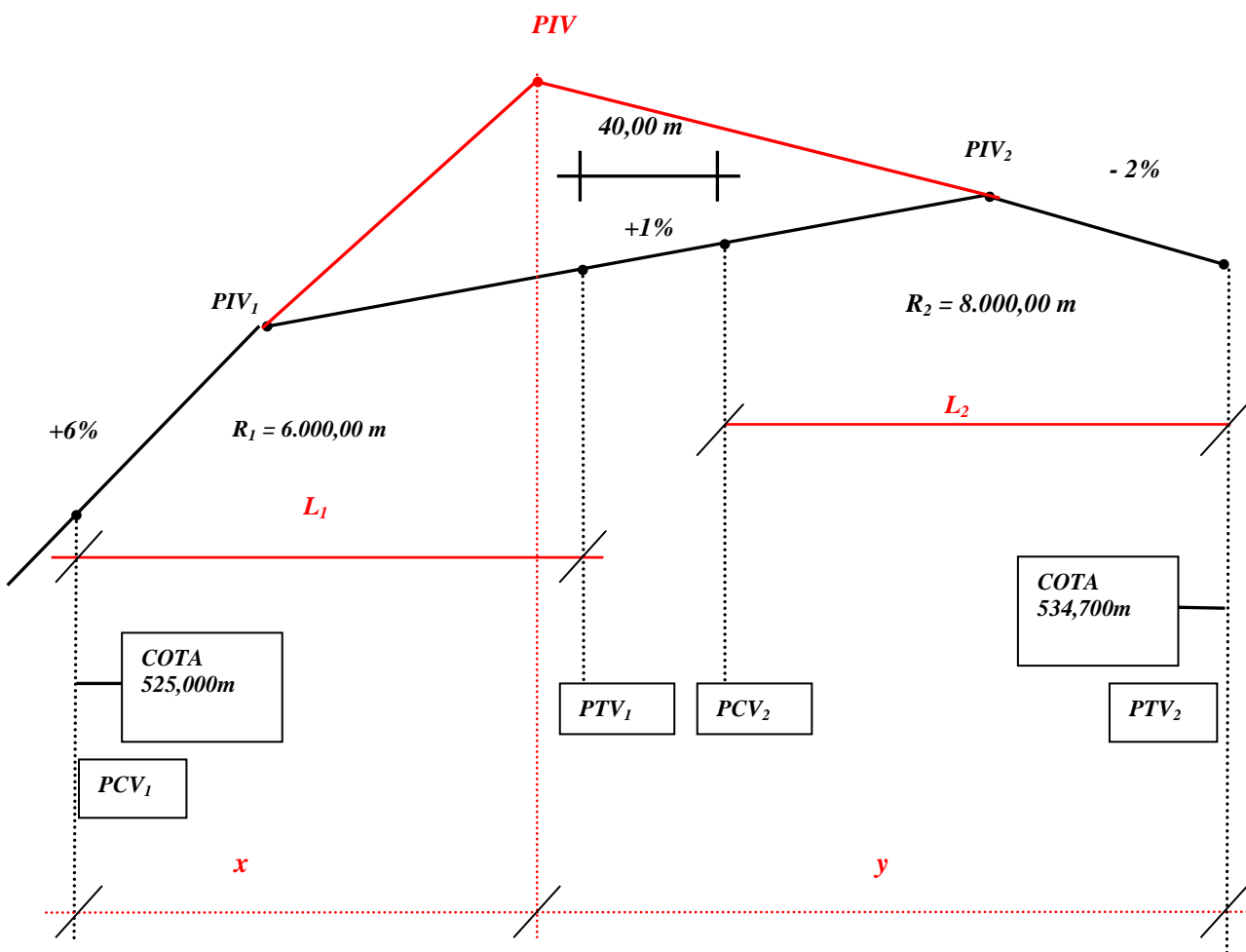
7.7.3- Calcular as altitudes do greide abaixo representado e o ponto mais alto ou mais baixo das curvas, considerando raios mínimos de 700,000m e 2300,000m para curva côncava e convexa respectivamente, distância de visibilidade de parada de 100,000m e pontos principais recaindo em estacas inteiras.



**RESPOSTA**

Estaca	Cota (m)	Estaca	Cota (m)	Estaca	Cota (m)	Estaca	Cota (m)	Estaca	Cota (m)
0	500,00	25	505,00	50	510,00	75	515,00	100	548,01
1	500,20	26	505,20	51	510,20	76	515,20	101	549,61
2	500,40	27	505,40	52	510,40	77	515,49	102	551,13
3	500,60	28	505,60	53	510,60	78	515,95	103	552,50
4	500,80	29	505,80	54	510,80	79	516,59	104	553,71
5	501,00	30	506,00	55	511,00	80	517,40	105	554,76
6	501,20	31	506,20	56	511,20	81	518,39	106	555,67
7	501,40	32	506,40	57	511,40	82	519,55	107	556,41
8	501,60	33	506,60	58	511,60	83	520,89	108	557,00
9	501,80	34	506,80	59	511,80	84	522,41	109	557,44
10	502,00	35	507,00	60	512,00	85	524,01	110	557,72
11	502,20	36	507,20	61	512,20	86	525,61	111	557,85
12	502,40	37	507,40	62	512,40	87	527,21	112	557,82
13	502,60	38	507,60	63	512,60	88	528,81	113	557,63
14	502,80	39	507,80	64	512,80	89	530,41	114	557,29
15	503,00	40	508,00	65	513,00	90	532,01	115	556,80
16	503,20	41	508,20	66	513,20	91	533,61	116	556,15
17	503,40	42	508,40	67	513,40	92	535,21	117	555,34
18	503,60	43	508,60	68	513,60	93	536,81	118	554,38
19	503,80	44	508,80	69	513,80	94	538,41	119	553,26
20	504,00	45	509,00	70	514,00	95	540,01		
21	504,20	46	509,20	71	514,20	96	541,61		
22	504,40	47	509,40	72	514,40	97	543,21		
23	504,60	48	509,60	73	514,60	98	544,81		
24	504,80	49	509,80	74	514,80	99	546,41		

**7.7.4** - Substituir as duas curvas verticais do trecho a seguir representado por apenas uma curva de concordância vertical, aplicando o maior raio possível, sem que a nova curva saia do intervalo entre o  $PCV_1$  e o  $PTV_2$ . Calcular o raio e a equação da nova curva considerando a distância de visibilidade de parada de 90,000m e a não obrigatoriedade dos pontos principais recaírem em estacas inteiras.



**RESPOSTA**  
**CALCULO DA 1ª CURVA**  
 $j = +0,05$

$j > 0 \Rightarrow$  **curva convexa**  
 $L = 300,000\text{ m}$

**CALCULO DA 2ª CURVA**  
 $j = +0,03$

$j > 0 \Rightarrow$  **curva convexa**

$$L = 240,000m$$

1ª EQUAÇÃO

$$6.x + 2.y = 970,000m \quad (1)$$

2ª EQUAÇÃO

$$x + y = 580,000m \quad (2)$$

$$y = 313,570m$$

$$x = 266,250m$$

$L_{max} = 532,500m = 26 \text{ est} + 12,500m$
$j = +0,08$
$R_{max} = 6656,250m$
$K = 19,660$
$L_{min} = 157,281m$
$e = 5,325m$
$z = 0,00007512 \text{ m}$
$y = 0,00007512 * x^2$

## 8. BIBLIOGRAFIA

- AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials – “ **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**”, Washington,D.C., 2001
- CARCIENTE, Jacob – “**Projetos de Estradas**”, Ediciones Vega, Caracas, 1985.
- CARVALHO, M. Pacheco de – “**Curso de Estradas - Estudos, Projetos e Locação de Ferrovias e Rodovias**”, Editora Científica, Rio de Janeiro,1966.
- DNER – “**Instruções para o Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**”, Rio de Janeiro, 1979.
- DNER – “**Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**”, Rio de Janeiro, 1999.
- FONTES, Luiz Carlos – “**Engenharia de Estradas - Projeto Geométrico**”, Centro Editorial e Didático da Universidade Federal da Bahia,1991.
- KUSTER FILHO, Wilson. – “**Projeto Geométrico**”, Diretório Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 1993
- PEREIRA, D.M.; RATTON, E.; BLASI, G.F.; KUSTER FILHO, W. – “**Projeto Geométrico**”, Diretório Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 1997.
- PEREIRA, D.M.; RATTON, E.; BLASI, G.F.; KUSTER FILHO, W. – “**Projeto Geométrico de Rodovias - Perfil**”, Diretório Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2001.
- PEREIRA, D.M.; RATTON, E.; BLASI, G.F.; KUSTER FILHO, W. – “**Projeto Geométrico de Rodovias - Planta**”, Diretório Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2001.
- PEREIRA, D.M.; RATTON, E.; BLASI, G.F.; KUSTER FILHO, W. – “**Projeto Geométrico de Rodovias – Superelevação e Superlargura**”, Diretório Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2001.
- PIMENTA, C.R.T.; OLIVEIRA, M.P. – “**Projeto Geométrico de Rodovias**”, RiMa Editora, São Carlos, 2001.
- PONTES FILHO, Glauco – “**Estradas de Rodagem - Projeto Geométrico**”, Universidade de São Paulo, São Carlos,1998.
- SHU, Han Lee – “**Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**”, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- AUTODESK – “**Hands-On Autodesk InfraWorks**”, 2014

## 9. ANEXOS

### 9.1 UTILIZAÇÃO DO AUTOCAD CIVIL 3D

#### 9.1.1 COMO UTILIZAR ESTE DOCUMENTO

Este documento foi desenvolvido para introduzir técnicas de projeto assistido por computador (CAD) aplicado às disciplinas de Engenharia de Transportes ofertadas pela Universidade Federal do Paraná-UFPR, e disponíveis para qualquer interessado, permitida a reprodução, desde que citada a fonte.

A ferramenta utilizada é o programa CIVIL 3D, da AutoDESK, que é a mesma companhia que desenvolve o AutoCAD, e tornou-se padrão de mercado nas últimas décadas.

Este roteiro permite iniciar trabalhos de engenharia de transportes, cujo nível de complexidade crescente pode ser alcançado conforme a experiência do interessado, extremamente facilitado pelos recursos de **Tutoriais** e em especial dos **Vídeos de Treinamento**, disponíveis pela internet nos endereços citados.

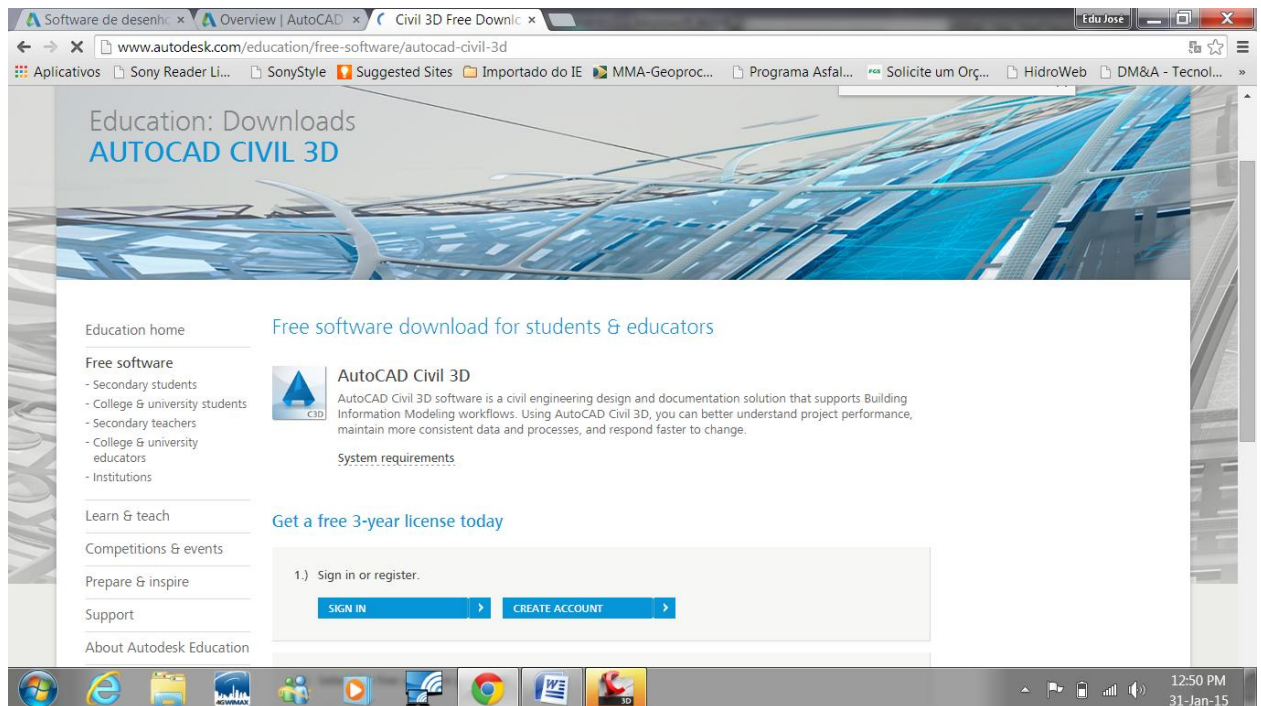
**Veja o vídeo de treinamento.** O vídeo é um instrutor permanente, que você pode consultar a qualquer hora, quantas vezes quiser, depois disso, siga os passos do roteiro e você poderá utilizar o programa.

A sequência de trabalho pode ser claramente identificada no índice.

#### 9.1.2 ONDE OBTER O PROGRAMA

Localize o link para o download do programa no site da AutoDESK, conforme abaixo

**<http://www.autodesk.com/education/free-software/autocad-civil-3d>**



Faça o cadastro e o dowload, instale de acordo com as instruções . Veja que você pode operar com o programa teste por até 3 anos, isso se chama “share-ware”, é uma política que permite a você aprender a trabalhar com o programa e obter recursos para adquiri-lo. Prestigie esta opção comprando a versão profissional assim que puder, neste e em qualquer programa “share-ware”, para manter a sustentabilidade desta política, ela é muito importante para o desenvolvimento profissional, da ciência e da educação.

### 9.1.3 ONDE OBTER SUPORTE

O suporte para duvidas pode ser obtido em inglês, no site da própria AutoDESK, apresentado abaixo, para isso também é importante o seu cadastro.



<http://knowledge.autodesk.com/support/autocad-civil-3d#?p=AutoCAD%20Civil%203D&sort=score>

### 9.1.4 TREINAMENTO “ON LINE”

A possibilidade de treinamento on-line é uma grande vantagem deste programa.

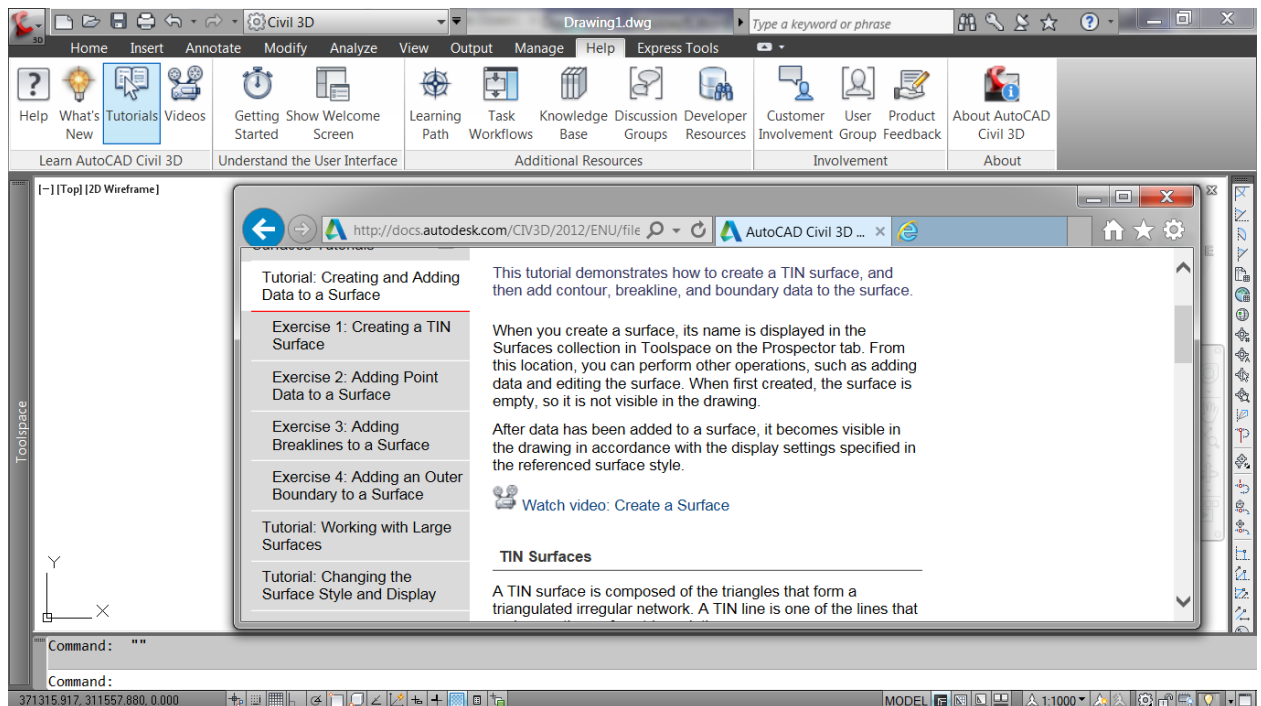
Trata-se de recursos explicativos em **Tutoriais** e **Vídeos de Treinamento**, disponíveis pela internet nos endereços citados abaixo.

**Veja os vídeos de treinamento.** O vídeo é um instrutor permanente, que você pode consultar a qualquer hora, quantas vezes quiser, depois disso, siga os passos do roteiro e você poderá utilizar o programa.

#### 9.1.4.1 Tutoriais

Os tutoriais são os primeiros exercícios. Estão as sequencia exata dentro de cada operação, não se intimide com o inglês, se precisar use o tradutor do Google. Se você é inexperiente em inglês, procure a disciplina de Inglês Instrumental ofertada pelo Departamento de Linguas Estrageiras da UFPR, ele ensina a você usar o inglês para com aquilo que sabe, para fazer o que você precisa.

O acesso é pelo HELP do Civil 3D.



#### 9.1.4.2 Videos (Watch and Learn)

Os recursos de video treinamento são a ferramenta mais importante do suporte.

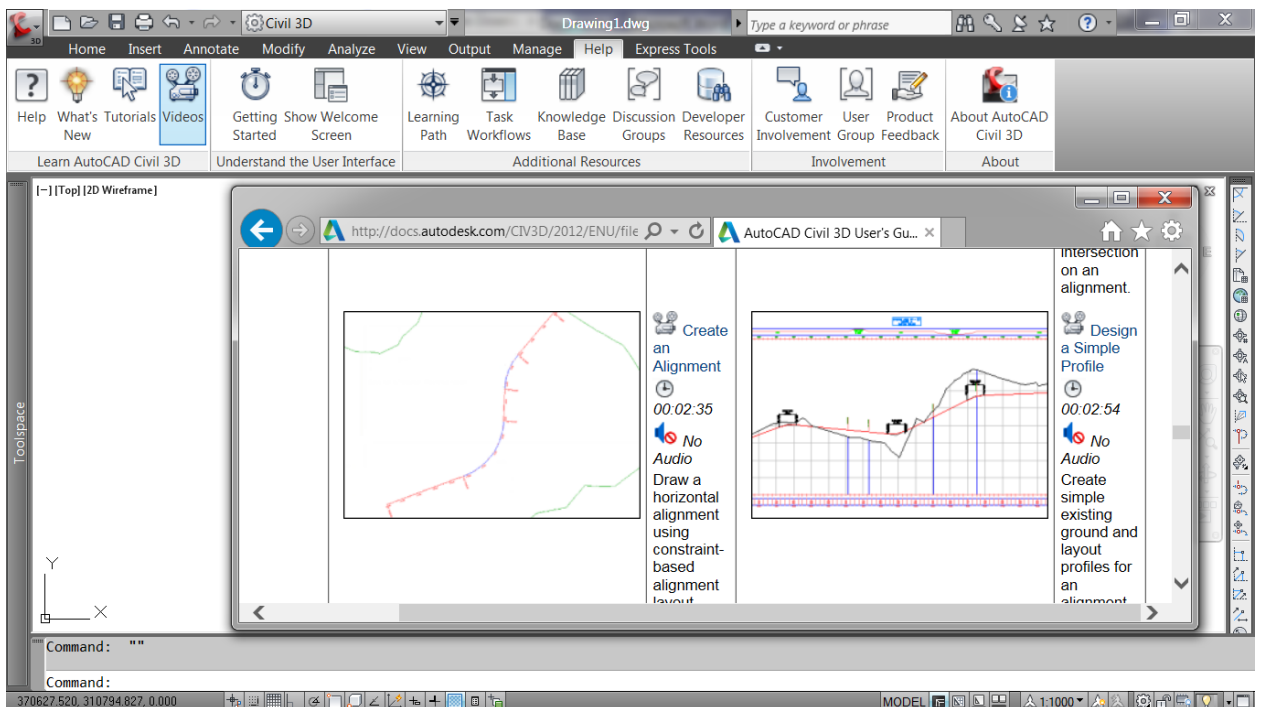
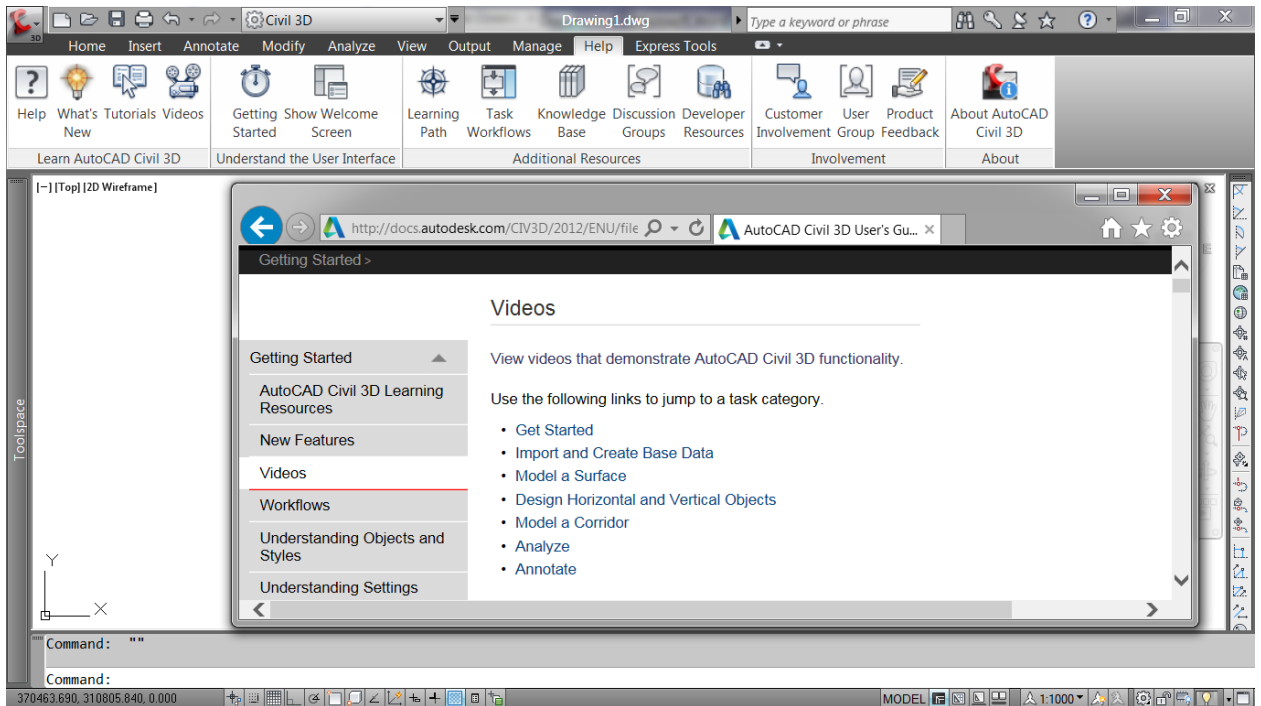
Assista à todos os vídeos antes de continuar esta leitura, você vai perceber que a orientação vai ficar muito mais fácil.

Os vídeos estão organizados na sequencia exata do desenvolvimento do trabalho.

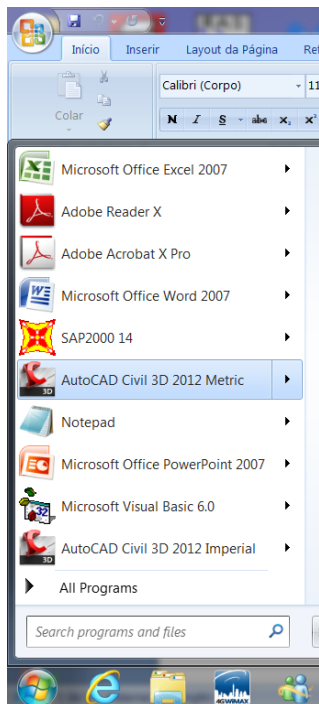
As janelas abaixo estão no seguinte endereço:

**[http://docs.autodesk.com/CIV3D/2012/ENU/filesCUG/GUID-8B18E1CC-C1A0-4EB2-9AA2-A48C6AD0CA4-3.htm#SECTION\\_702DF6EB4EB64DC686C7D03A9885088A](http://docs.autodesk.com/CIV3D/2012/ENU/filesCUG/GUID-8B18E1CC-C1A0-4EB2-9AA2-A48C6AD0CA4-3.htm#SECTION_702DF6EB4EB64DC686C7D03A9885088A)**





### 9.1.5 INICIANDO O PROGRAMA



Se voce já assitiu o treinamento, é hora de por mãos à obra:

Inicialize o Civil 3D na barra de programas, conforma a figura ao lado.

Tome o cuidado de selecionar o Civil 3D Metric. A opção Imperial esta em unidades inglesas e não dá pra alterar depois de iniciado errado, neste caso precisa começar de novo, desde o início.

Os **alertas são escritos em negrito**, as *instruções mínimas estão em itálico*, o restante do texto contém comentários e instruções normais.

O projeto no civil 3d funciona da seguinte forma:

*Crie o terreno*, a partir do menu surface; voce inicialmente da um nome à uma superfície e depois define o que a constitui, é aí que entram pontos cotados ou curvas de nível que representam o terreno.

*Defina o alinhamento horizontal*, a partir das ferramentas de traçado horizontal ( inserir pi's, inserir curvas..) onde é indicada a velocidade diretriz para cálculo da superelevacao e superlargura.

*Crie o perfil do terreno*, e em seguida o *greide da pista*, com as ferramentas de traçado vertical.

*Crie o gabarito*, pelo menu assembly, note que precisa ativar um ícone especial pra isso. Use o gabarito da pista que suporta SE/SL, já calculado na fase de alinhamento horizontal.

Com planta, perfil e seção definido, *crie o modelo da via*, pelo menu *CORRIDOR*. Nesta fase é gerada uma superfície que corresponde a terraplenagem acabada, que serve de base pro cálculo de volumes.

Uma vez modelado, *é preciso estabelecer a posição das seções onde será calculado o volume, com sample lines*.

Com as sample lines, é possível *desenhar as seções transversais*, as notas de serviço e o diagrama de bruckner.

O cálculo de volumes implica em se estabelecer uma material list, que diz ao programa qual superfície se sobrepõe à outra, definindo corte e aterro.

As notas de serviços são geradas a partir do menu Report.

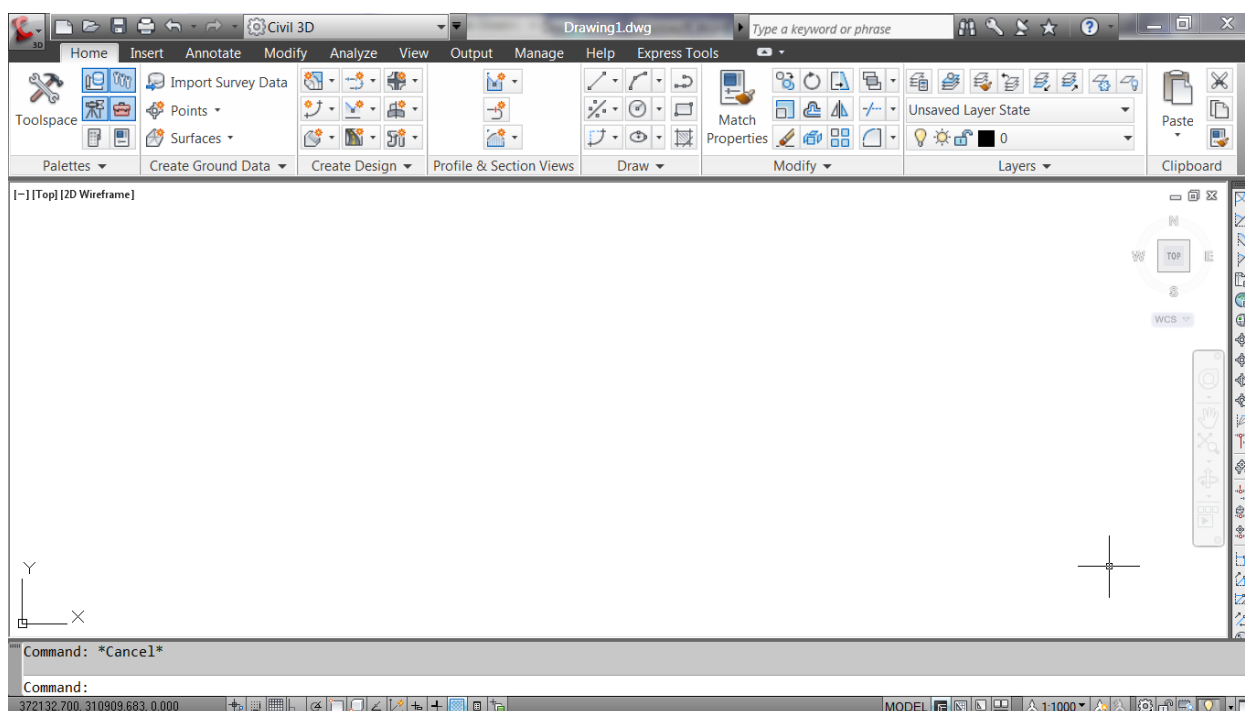
O menu settings ajusta a definição da escala . Quando chegar nesta parte, cuide de usar tamanhos normalizados de desenho (a1, a0) e principalmente as letras, que tem altura referenciada em polegadas desta forma : 2,54 mm plotados equivale a régua com altura de letra CL 100. Para escrita normal voce deve usar CL 100 e CL 80, para cotas CL 80 e CL 60, e para anotações mínimas CL 50. Títulos usam CL 140 ou CL 175 e anotações de destaque, como título de tabelas ou direções CL 120. Cada letra tem uma espessuras padrão .

Use o fonte arial narrow e as anotações vão ficar muito parecidas com as de um normogafo. Este quesito é importante para profissionalizar o trabalho, é isso que vai dar função ao que voce aprendeu .

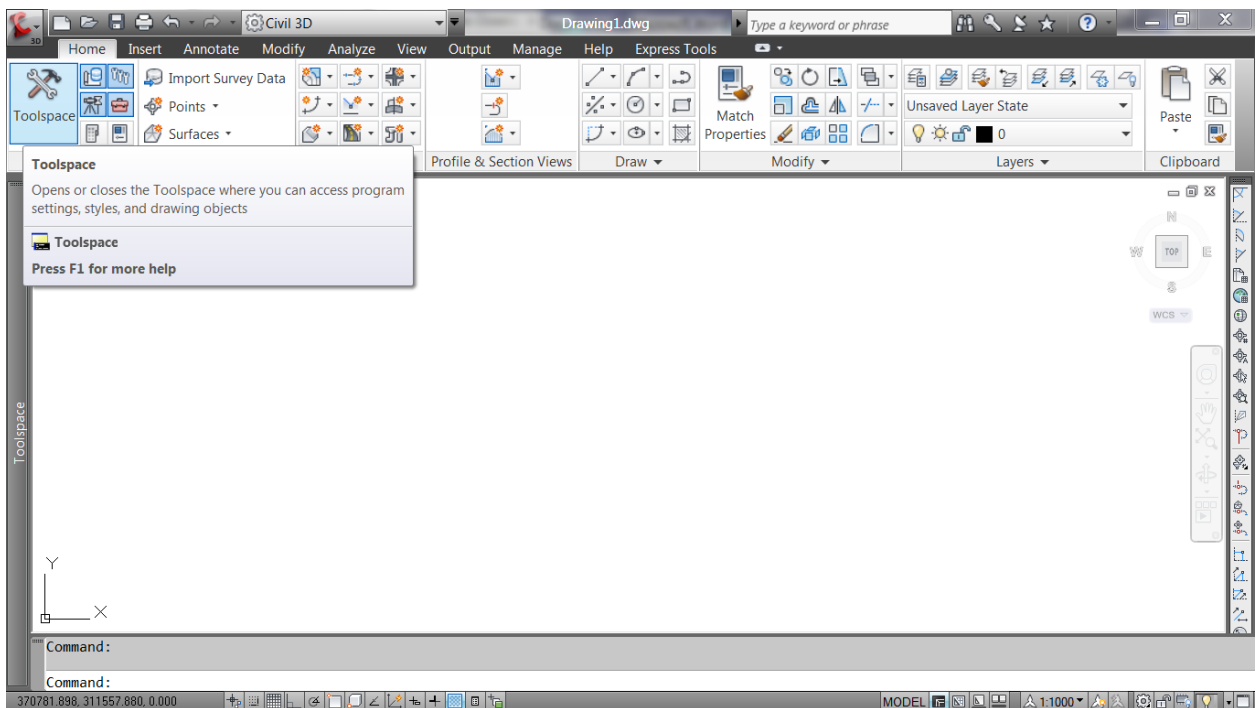
Use as plantas com formato do DNIT e do DER/Pr para ajustar os perfis e as plantas.

Agora, passo por passo:

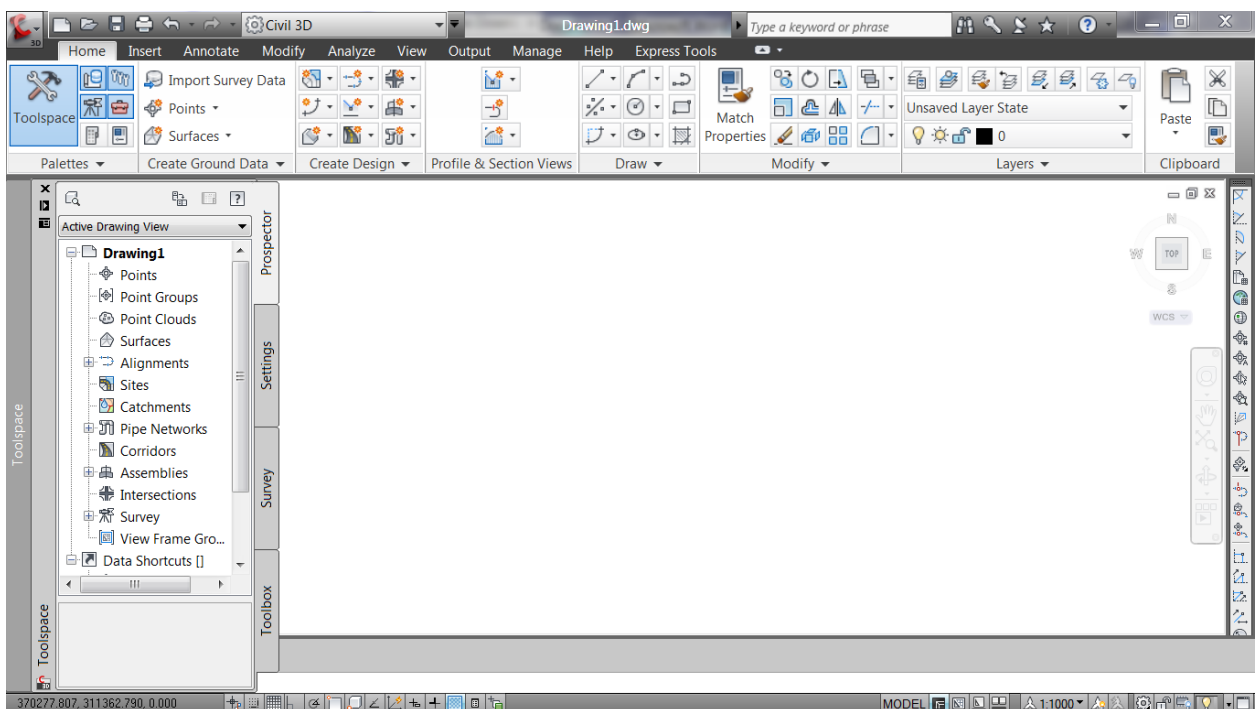
A tela de inicialização tem o formato apresentado abaixo.



Assim que abrir, *acione o ícone “Toolspace”* correspondente à barra de ferramentas (marcado com a esta do mouse na figura)



Este menu tem funções fundamentais, na aba prospector, que vc usará para o projeto.

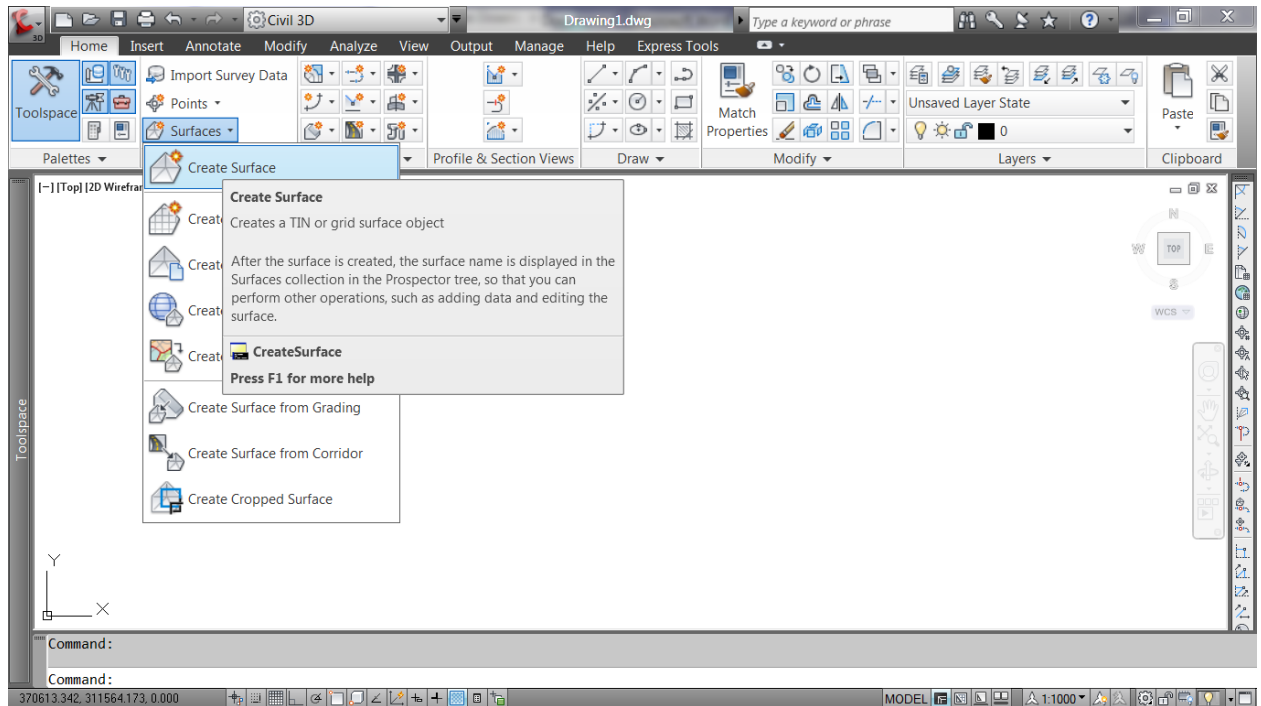


## 9.1.6 INICIANDO UM PROJETO

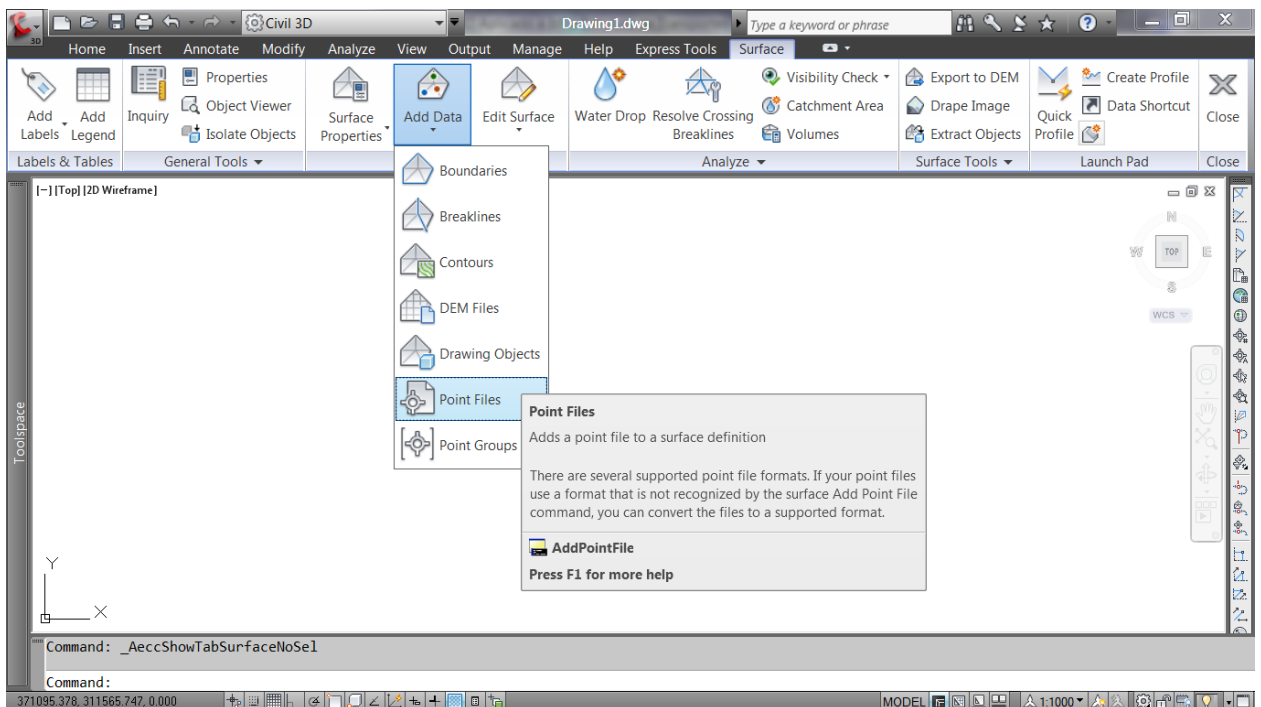
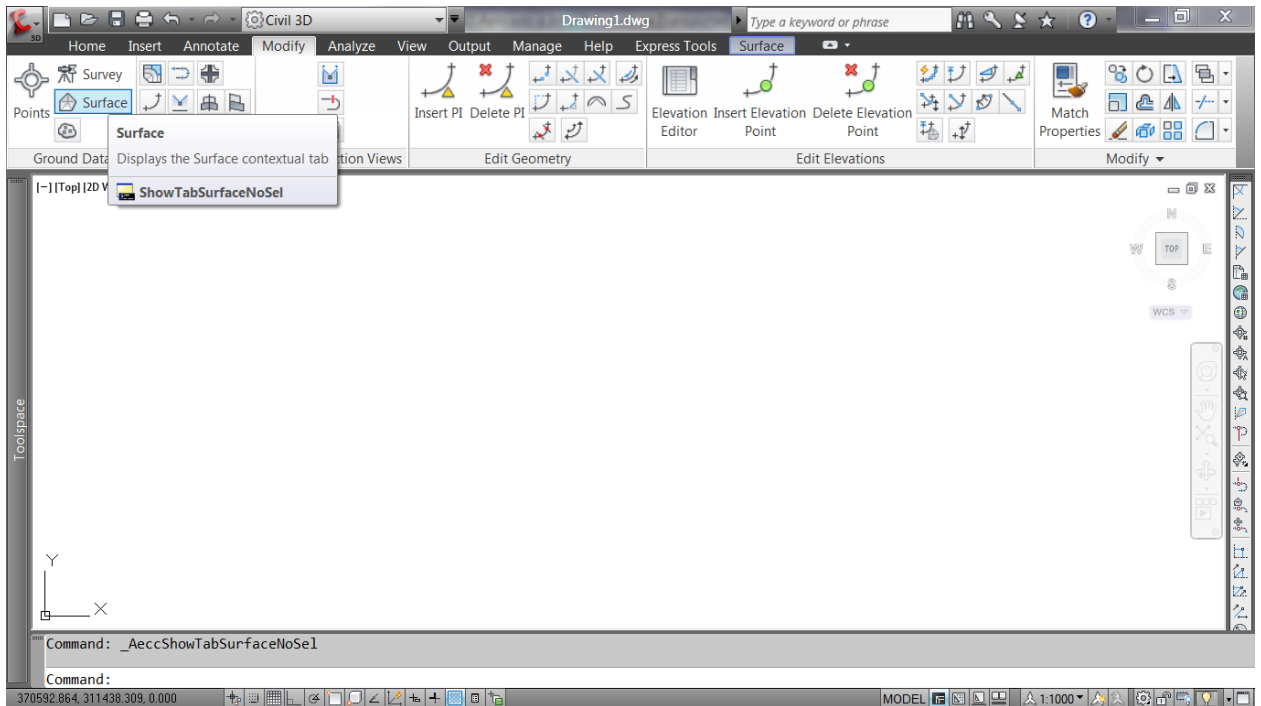
### 9.1.6.1 Criando a superfície do Terreno

Crie o terreno, a partir do menu surface;

Voce inicialmente da um nome à uma superfície e depois define o que a constitui, é aí que entram pontos cotados ou curvas de nível que representam o terreno.

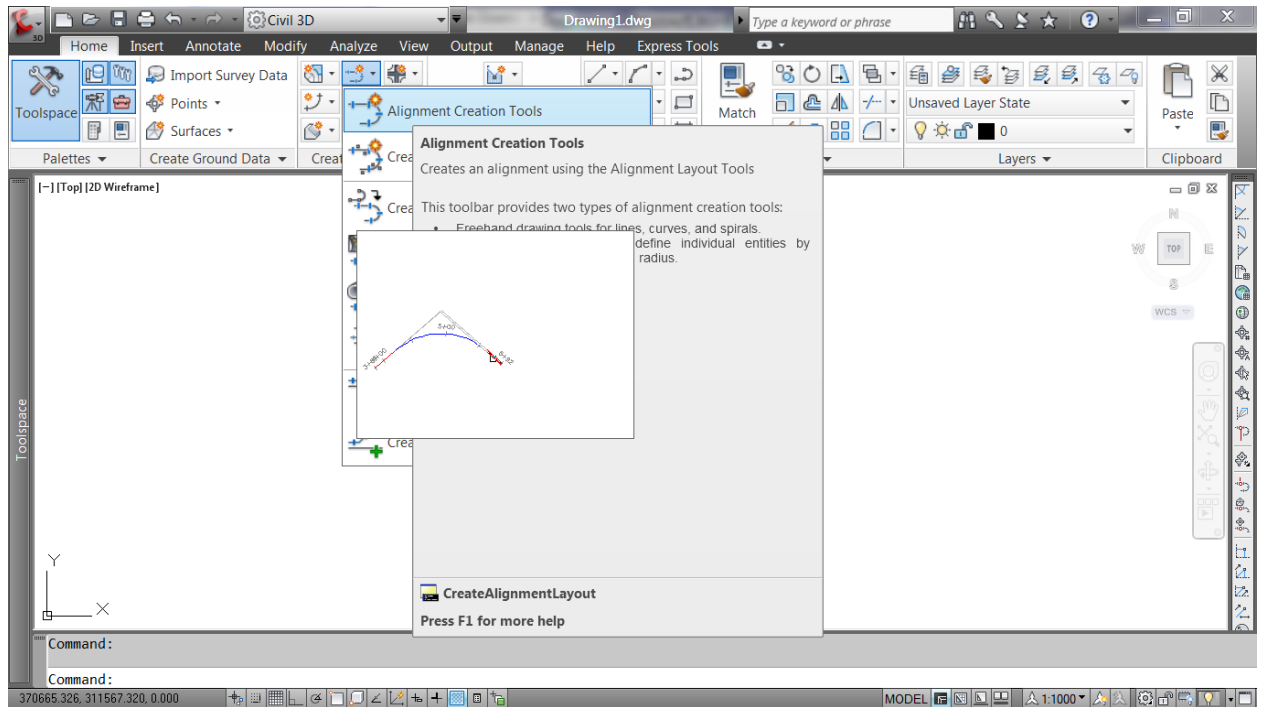


Acima temos a tela do menu Home/Surface, que permite criar a entidade, e abaixo, as telas dos menus Modify/Surface que acionado ativa o menu Surface/Add Data, onde são inseridos os dados de formação da superfície.



### 9.1.6.2 Criando o Alinhamento Horizontal

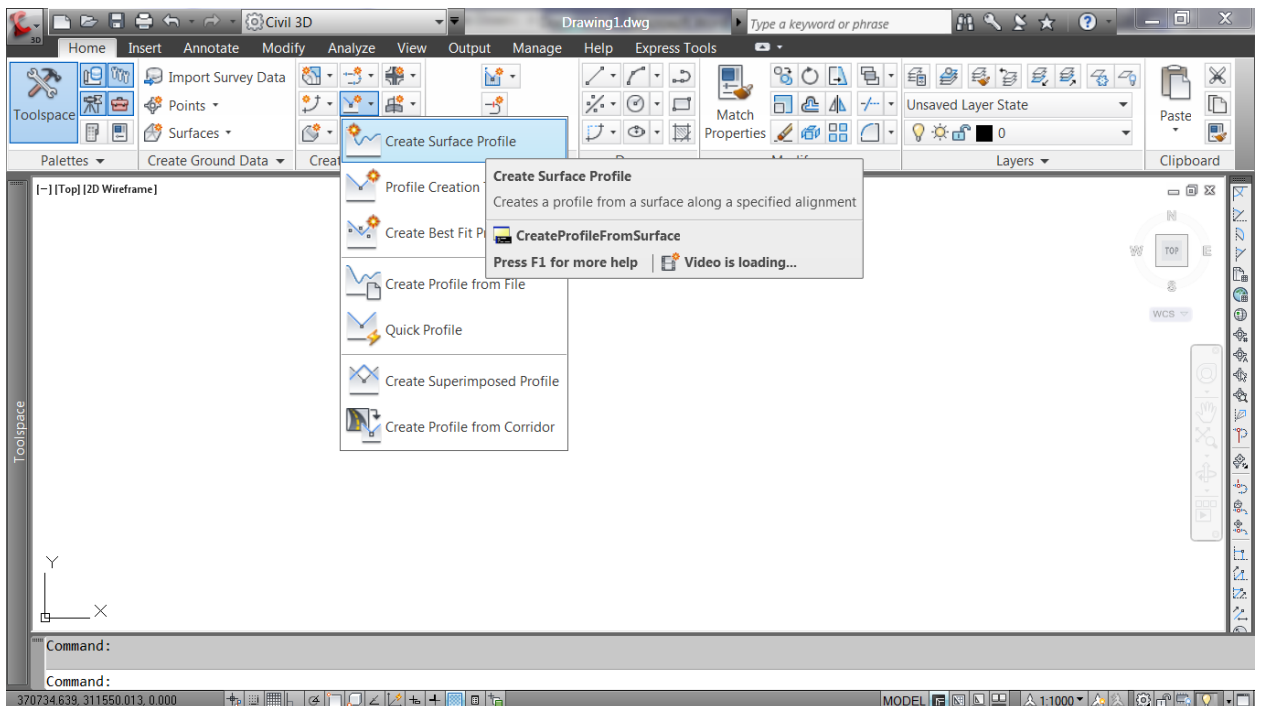
Defina o alinhamento horizontal, a partir das ferramentas de traçado horizontal ( inserir pi's, inserir curvas..) onde é indicada a velocidade diretriz para cálculo da superelevacao e superlargura.



### 9.1.6.3 Criando o Alinhamento Vertical

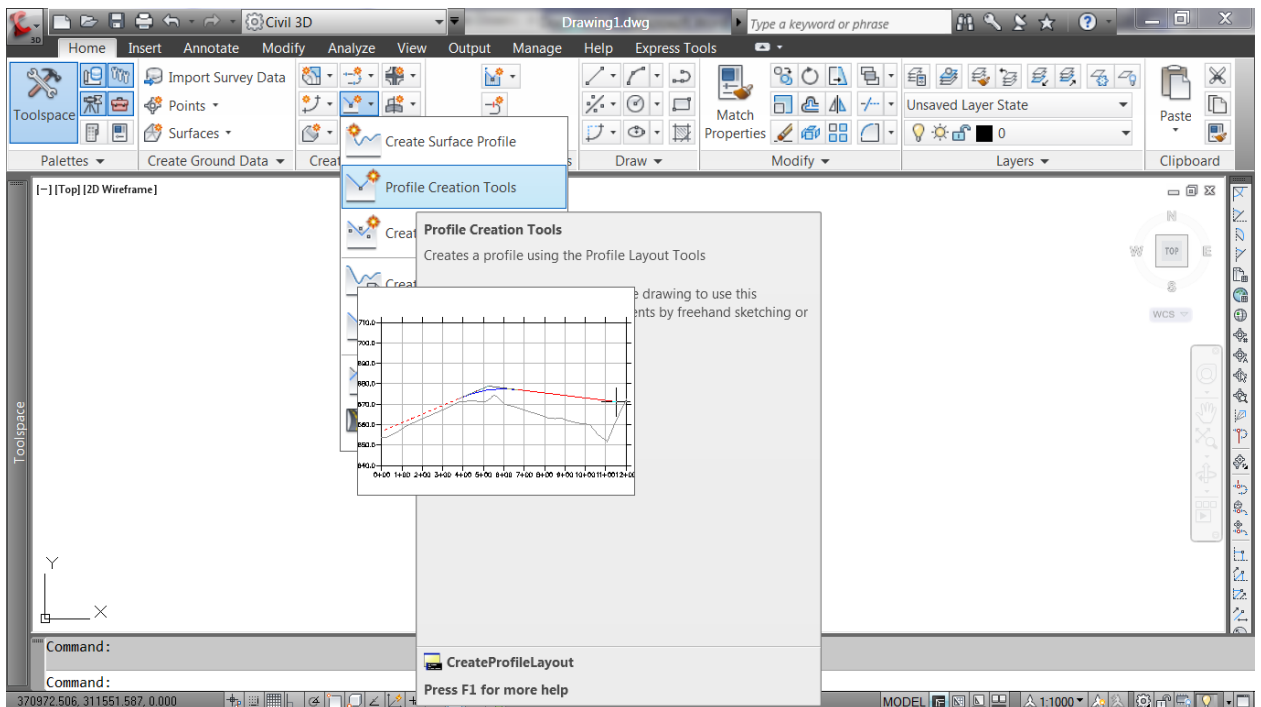
#### a) Perfil do terreno

Crie o perfil do terreno, a partir da plante e da superfície do terreno,



**b) Greide de Pavimentação**

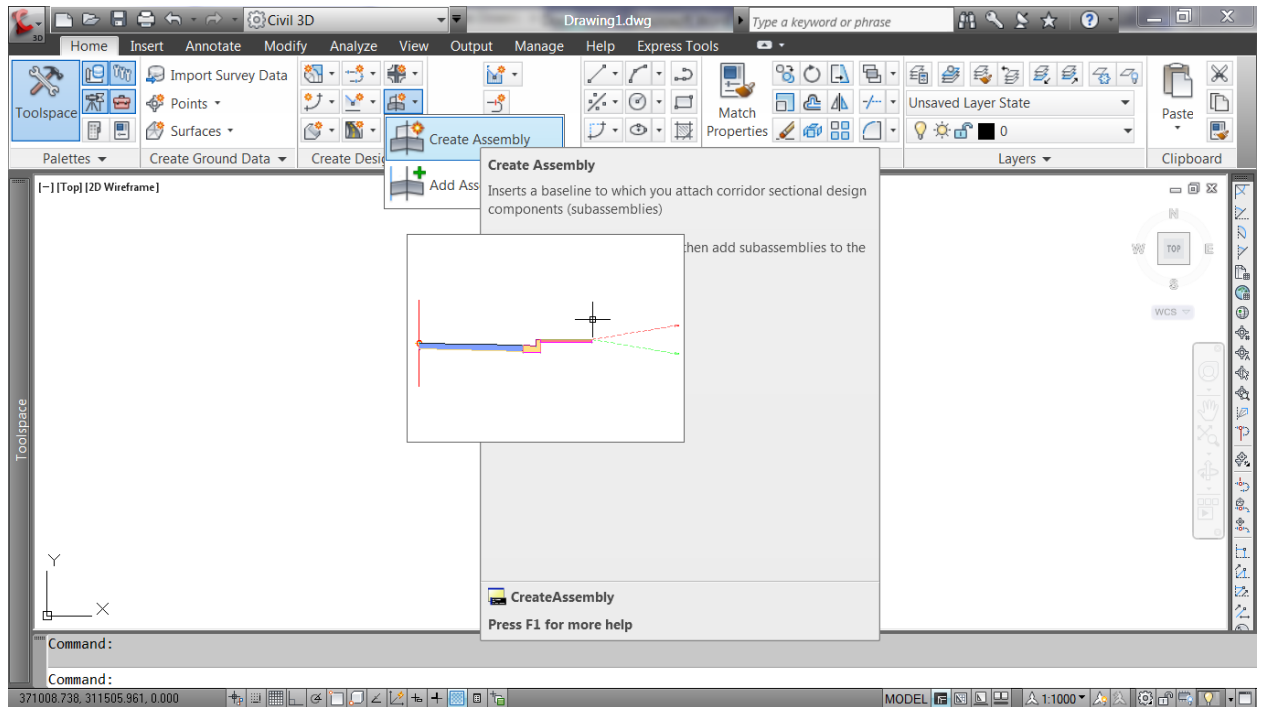
Em seguida o greide da pista, com as ferramentas de traçado vertical.





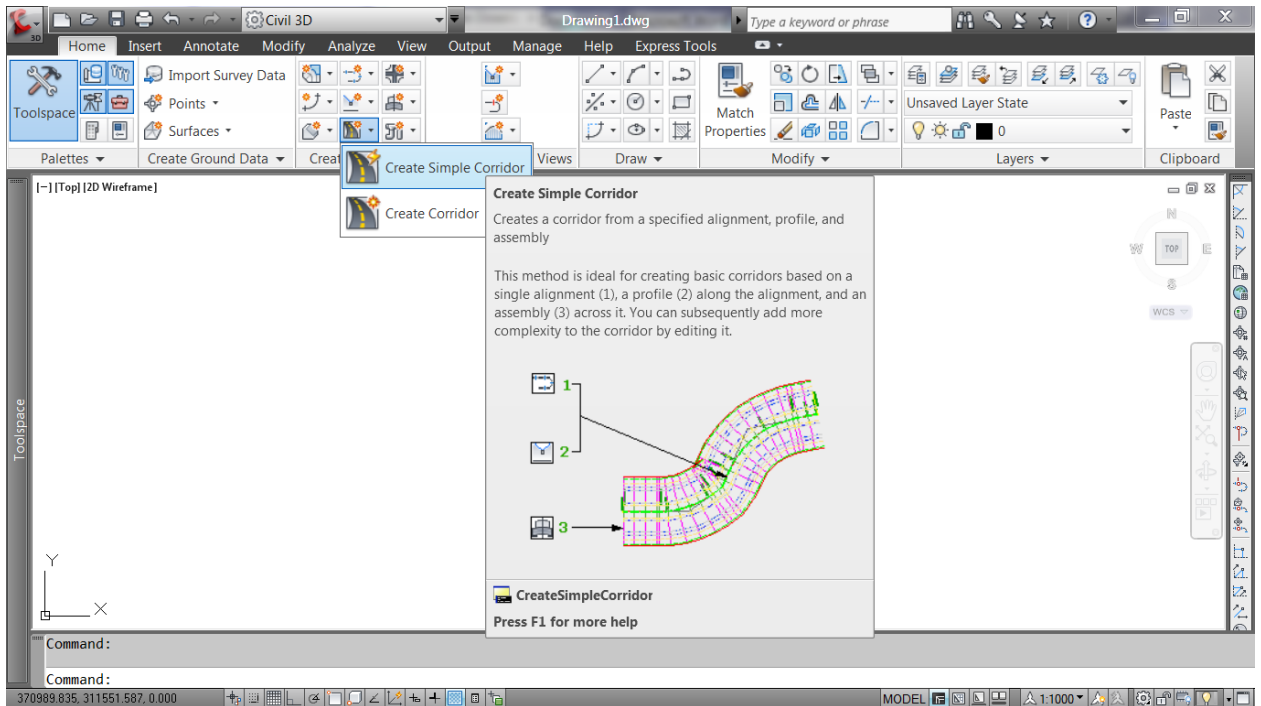
#### 9.1.6.4 Criando o Gabarito da Plataforma

Crie o gabarito, pelo menu assembly, note que precisa ativar um ícone especial pra isso. Use o gabarito da pista que suporta SE/SL, já calculado na fase de alinhamento horizontal.



#### 9.1.6.5 Criando o modelo 3d da Estrada – Corridor

Com planta, perfil e seção definido, *crie o modelo da via, pelo menu CORRIDOR*. Nesta fase é gerada uma superfície que corresponde a terraplenagem acabada, que serve de base pro cálculo de volumes.

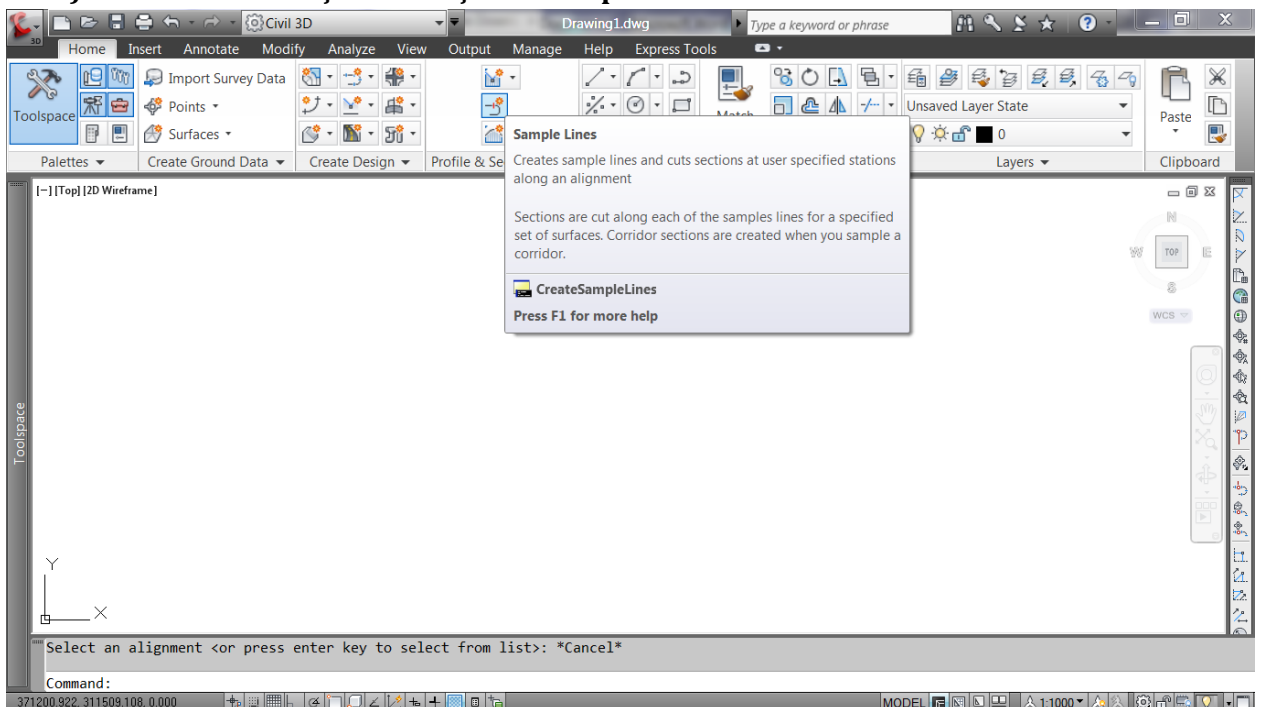


#### 9.1.6.6 Cortando as Seções Transversais do Modelo

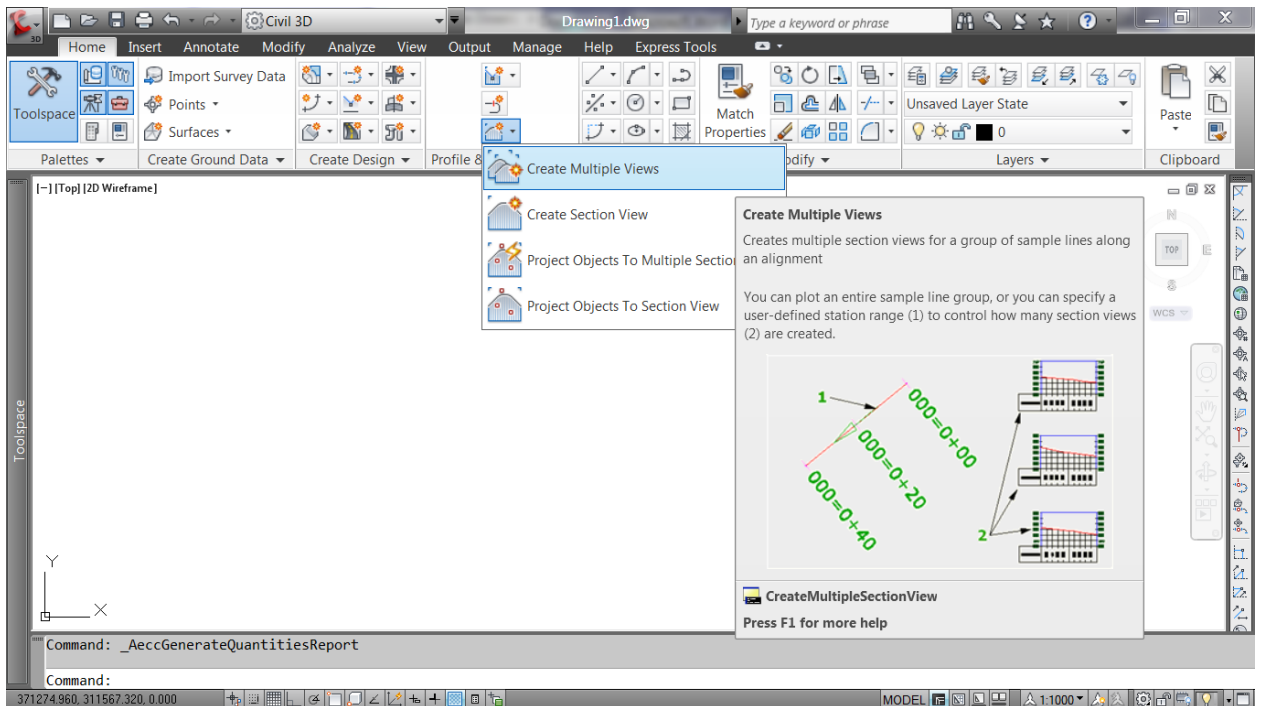
Uma vez modelado , é preciso estabelecer a posição das seções onde será calculado o volume, com sample lines.

Com as sample lines, é possível desenhar as seções transversais, as notas de serviço e o diagrama de bruckner .

#### a) Definindo a Posição das Seções – Sample Lines



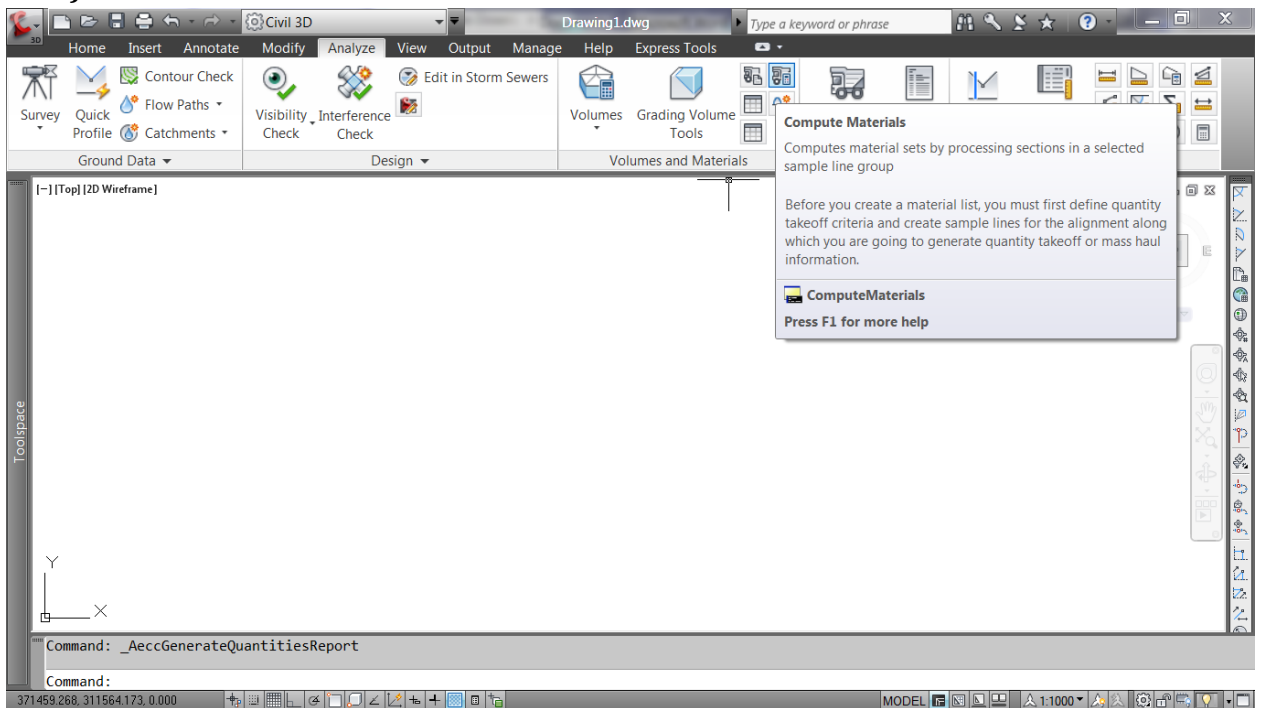
**b) Desenhando as as Seções**



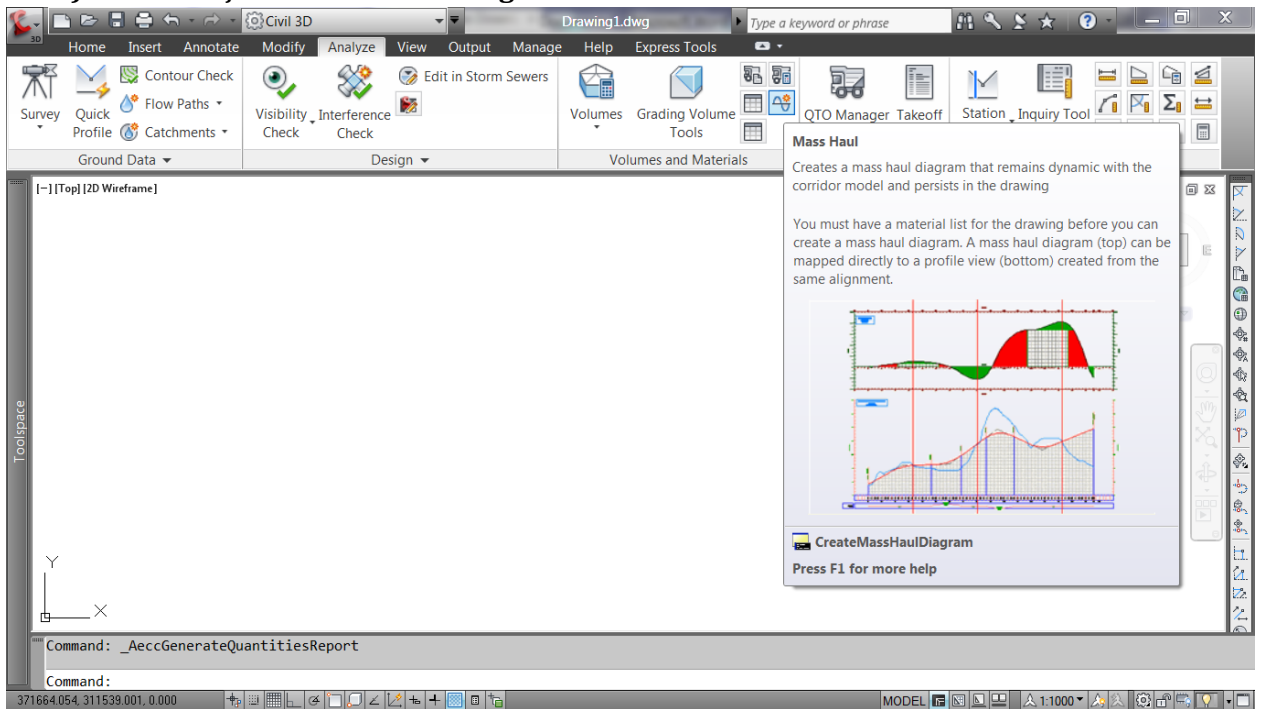
*9.1.6.7 Calculando os Volumes*

O cálculo de volumes implica em se estabelecer uma material list , que diz ao programa qual superfície se sobrepõe à outra, definindo corte e aterro.

**a) Tabelas de Cortes e Aterros**



**b) Distribuição de Volumes - Diagrama de Bruckner**



*9.1.6.8 Notas de Serviço*

As notas de serviços são geradas a partir do menu Report, que é ativado no Toolbox mostrado na figura abaixo.

