

COPPE/UF RJ  
COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA ENGENHARIA CIVIL

"TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

Autor: CARLOS WILLIAMS U. CARRION  
Professor Assistente, FEL-UNICAMP  
Engenheiro Senior da Consultores  
Gerais Ltda.

RIO DE JANEIRO

SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA ENGENHARIA CIVIL

"TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

\* Carlos Williams U. Carrion

RESUMO

Dentre as numerosas aplicações do computador no campo da Engenharia Civil, apresentamos neste trabalho uma série de diagnósticos e conclusões com relação ao emprêgo dos sub-sistemas ICES-ROADS e ICES-COGO do MIT-Massachusetts Institute of Technology na solução de problemas geométricos que envolvem locação e construção de qualquer tipo de rodovia. Baseado na experiência adquirida na Hidroservice - Engenharia de Projetos no uso destes sub-sistemas em diversos projetos de estradas, apresentamos sugestões a futuros usuários, visando a otimização de cotas de projeto.

SYNOPSIS

Among the numerous applications of computers in the field of Civil Engineering we present in this paper a series of diagnoses and conclusions related to the use of software ICES-ROADS and ICES-COGO of MIT-Massachusetts Institute of Technology, in the solution of geometric problems involving location and construction of any type of highways. Based on the experience acquired in the use of these software in the Hidroservice - Engenharia de Projetos, in various highway designs, we present suggestions to futures users with the purpose of optimization of design elevation.

\* Eng<sup>o</sup> Consultor, Professor Assistente FEL-UNICAMP.

## INTRODUÇÃO

Os E.U.A. tem atualmente a melhor rede de estradas pavimentadas do mundo, mesmo assim, as modificações que o computador já fez nas vias de comunicação americanas são insignificantes comparadas com os surpreendentes progressos previstos para a próxima década. É sabida a possibilidade de utilização de computadores na repetição de operações que se possam reproduzir através de modelos matemáticos. Sua utilização especializada, no campo da Engenharia de Transportes, tornou-se fácil, a partir do momento em que para tal fim, a atenção dos especialistas pode equacionar matematicamente os fenômenos em estudo.

É interessante acentuar que, em razão do uso de computadores, tornou-se necessário o re-exame de todos os sistemas alimentadores de informações e propagadores de comunicações nos órgãos rodoviários, com economia e rapidez consequente.

Nos EE. UU., pelo alto acervo de sua experiência destacaram-se principalmente os seguintes órgãos: Bureau of Public Roads e o Massachusetts Institute of Technology (MIT).

O MIT, através do seu Departamento de Engenharia Civil, dedicou-se ao estudo e desenvolvimento de técnicas computacionais visando particularmente através de sistemas integrados de programação solucionar problemas geométricos sumamente frequentes no campo da Engenharia de Transportes. Quase sempre, estes problemas tornam-se trabalhosos, quer pelo grande volume de computações que demandam, como nas poligonais topográficas pela frequência de determinadas operações, ou num projeto de estradas, o cálculo de curvas de concordância ou a determinação de volumes de cortes e atêrros, etc.

Surgiram então, os sub-sistemas ICES-COGO (Integrated Civil Engineering System - Coordinate Geometry) e o ICES-ROADS (Integrated Civil Engineering System - Roadway Analysis Design System), que apresentam como grandes vantagens a facilidade e flexibilidade de sua utilização.

No presente trabalho visando a otimização de proje-

tos, apresentamos uma série de conclusões sobre o uso destes sub-sistemas na automatização de projetos geométricos de qualquer via de transporte, principalmente estradas de rodagem.

## 2 - SUB-SISTEMA ICES-ROADS

ROADS (Roadway Analysis and Design System) é um sub-sistema do ICES utilizado na solução de problemas que envolvem locação e construção de qualquer tipo de rodovia. Consiste numa linguagem orientada para uso em Engenharia Civil possuindo uma filosofia própria de arquivos de informação.

Este sub-sistema é usado para o projeto geométrico de qualquer via de transporte que envolve movimento de terra e escavação tais como o caso de hidrovias, ferrovias, rodovias, oleodutos, gasodutos, etc.

As principais fases do ROADS incluem:

- a) Classificação de materiais de superfície e sub-superfície;
- b) Definição de alinhamento em planta e perfil de projeto, e integração de projetos geométricos com ICES-COGO;
- c) Definição de seções transversais;
- d) Simulação de comportamento de veículos em função da geometria da estrada.

Em síntese, o sub-sistema ROADS permite a emissão de notas de serviço, tabelas de volume de corte e atêrro, e estudo de desempenho de veículos em vias definidas no contexto do ROADS a partir de comandos definidos pelo usuário na linguagem de ROADS. (Ver Fig. 1).

Previamente a um teste pelo ICES-ROADS, é necessário a digitalização de dados topográficos do trecho experimental para levantamentos mais detalhados e estudos de viabilidade de projeto. Logo a seguir, os problemas deverão ser resolvidos na mesma ordem lógica, como são resolvidos na prática comum.

### 2.1 - Multi-Material Terrain Model

Nesta primeira fase do ROADS é feita a classificação

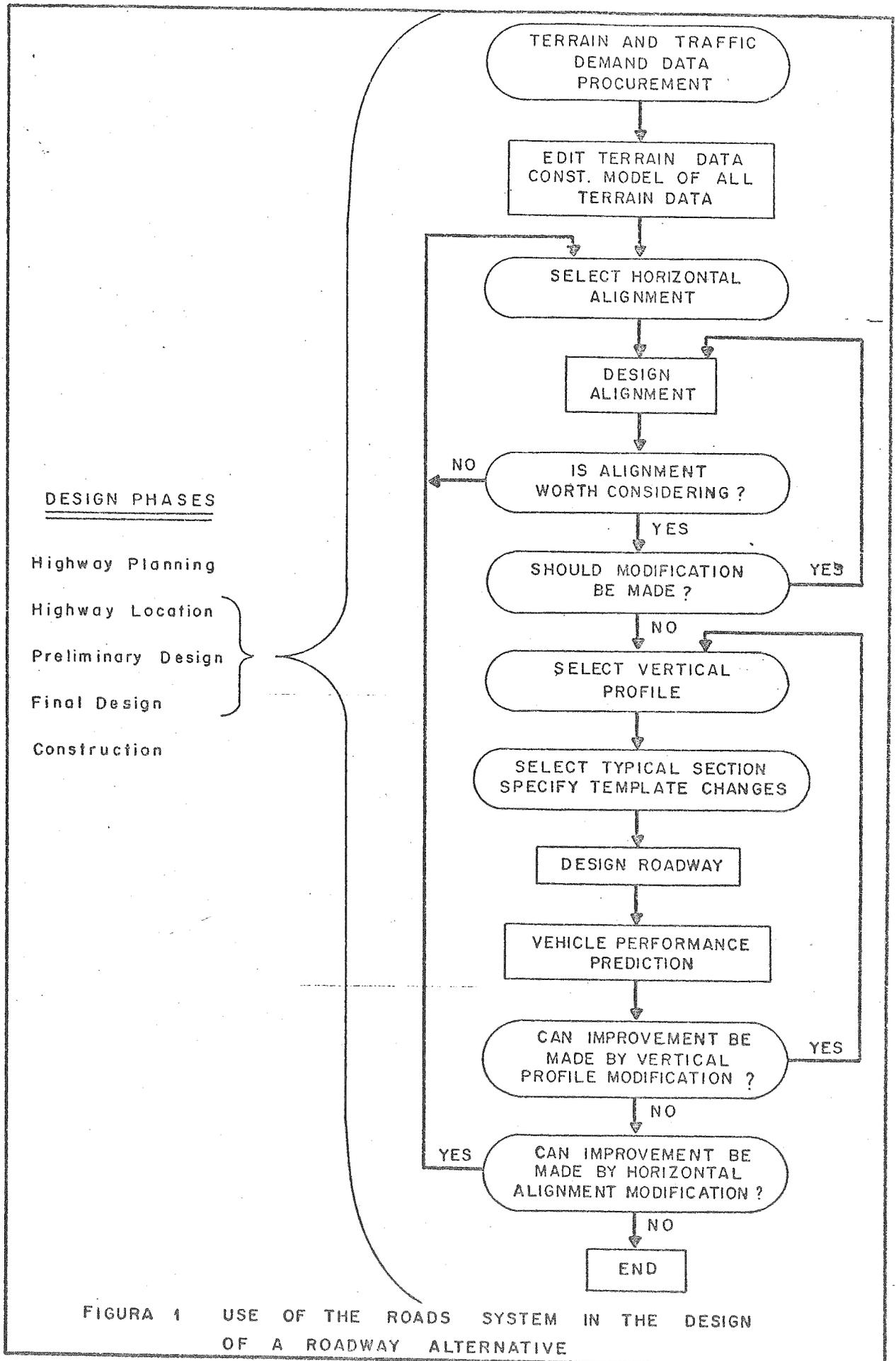


FIGURA 1 USE OF THE ROADS SYSTEM IN THE DESIGN OF A ROADWAY ALTERNATIVE

dos materiais de superfície e sub-superfície. As camadas de materiais de superfície e sub-superfície são descritas independentemente e são referenciadas a um traçado comum. Cada problema em ICES-ROADS é um jogo de dados de superfície que tem somente um modelo digital multi-material de terreno associado a ele; é por isto, que uma conveniente representação do leito e sub-leito do terreno é exigida para um sistema de projeto e locação de estradas. Os dados incluídos no modelo permitem considerar um grande número de possíveis locações de alinhamentos. Embora os recursos de dados de superfícies e sub-superfícies podem variar consideravelmente entre projetos individuais, 5 passos básicos são envolvidos no desenvolvimento de um "Multi-Material Terrain Model", são a seguir: INPUT, EDITING, DATA MODIFICATION, SELECTIVE OUTPUT e MODEL CONSTRUCTION.

Em síntese, nesta fase, após diversos processamentos afirmamos que:

\* Tivemos sérias dificuldades, posteriormente superadas, no concernente à programação do ICES que inicializa o sub-sistema ROADS.

\* O comando SURFACE DATA identifica as STATIONS e seus sucessivos pares de OFFSETS e ELEVATIONS do trecho em estudo; logo a seguir o comando EDIT SPECIFICATIONS introduz algumas restrições no modelo tais como: inclinação de taludes, números máximos e mínimos de OFFSETS, cotas máximas e cotas mínimas, etc.

\* O tempo transcorrido em ROADS para 10 Kms do trecho em estudo, está em torno de 1,0 minuto, para esta fase.

\* Os dados deverão ser referidos a um traçado (eixo X) e serão levantadas seções transversais ou linhas experimentais (eixo Y) perpendiculares a este traçado. (Ver Fig. 2).

\* Com relação aos dados de sub-superfícies do modelo, eles foram descritos pelos comandos BORINGS, SOUNDINGS e DEPTH OF COVER CONTOURS.



## 2.2 - Alignment and Profile Geometry

O traçado ao qual os dados de superfície são referidos devem ser geometricamente definidos para experimentar um bom alinhamento em planta. Todos os dados do terreno são referenciados a uma baseline, a qual pode conter "cursos", (trechos retos) e não precisa ser estaqueada continuamente. Geometricamente não há diferença entre um alinhamento e uma baseline, exceto que o alinhamento precisa ser estaqueado continuamente.

Entre as principais conclusões do processamento desta fase, podemos mencionar:

\* A mesma série de comandos usados para definir uma BASELINE é usada para definir um alinhamento com a adição do comando STORE CURVE.

\* O comando ALIGNMENT combina com os comandos STORE POINT, LOCATE, STORE CHAIN, STATION and STORE CURVES formando um comando principal e uma série de sub-comandos associados. Cada sub-comando define um ponto (POT) ou curva do alinhamento.

\* O perfil do projeto é descrito especificando para cada ponto de interseção vertical (VPI) uma apropriada combinação de estacas, distâncias, cotas, rampas e comprimentos de curvas verticais.

\* A palavra BASELINE é mutável com a palavra ALIGNMENT em todos os comandos exceto aqueles que os relatam geometricamente, isto é, podem referir-se ao mesmo traçado geométrico e ser usadas indistintamente em todas as entradas e saídas requeridas.

\* Um ALIGNMENT que não é idêntico em definição e estaqueamento, à BASELINE do trecho, deve ser geometricamente referido à esta BASELINE antes da plotagem do perfil ou do início dos cálculos de seções transversais da estrada.

\* O comando LAYOUT OFFSETS calcula para cada estaca da BASELINE:

- A distância OFFSET (perpendicular à seção transversal do terreno) da BASELINE para o ALIGNMENT.

- A estaca correspondente do alinhamento onde a seção transversal do terreno intercepta o alinhamento.

- O ângulo de deflexão desta estaca entre a seção transversal perpendicular à BASELINE e o ALIGNMENT.

\* Todo ALIGNMENT que é geometricamente coincidente com a BASELINE é indicado no ROADS pelo comando EQUATE ALIGNMENT.

\* O tempo transcorrido em ROADS para 10 Kms do trecho em estudo está em torno de 3,0 minutos para a primeira e segunda fase.

### 2.3 - Roadway Design

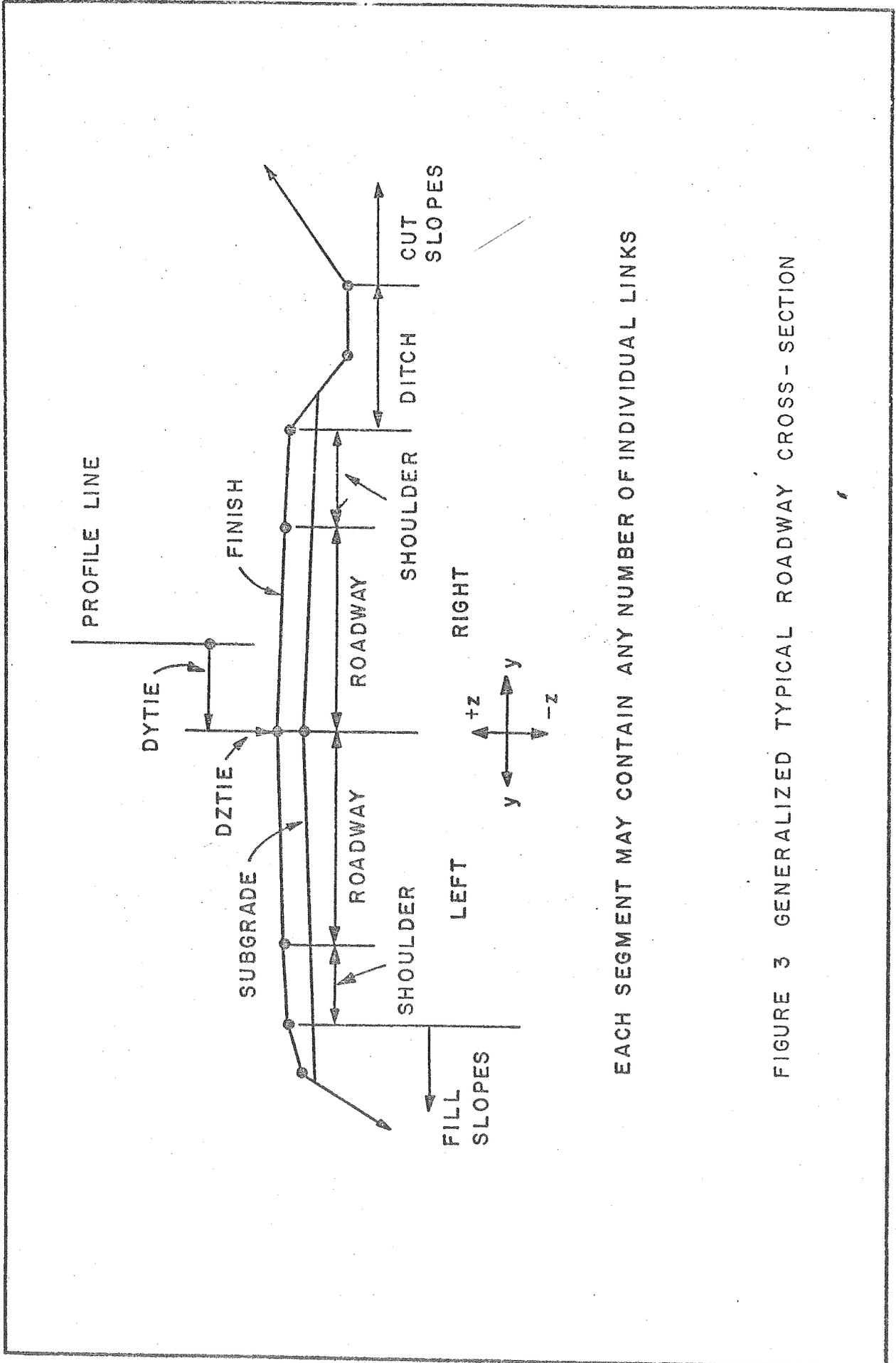
Para completar as especificações geométricas de uma estrada, uma seção transversal geral da estrada deve ser definida, da seguinte maneira:

- Definição de uma ou mais seções típicas básicas.
- Especificação de uma série de mudanças a estas seções típicas.

Estas mudanças alteram a largura e dimensões transversais dos taludes básicos.

\* A seção transversal da estrada é orientada para o greide final e é definida pelos sub-comandos SUBGRADE, ROADWAY, SHOULDER, DITCH, CUT SLOPES, FILL SLOPES. A seção quase sempre é simétrica, mesmo assim, existem sub-comandos de taludes (CUT and FILL SLOPES) para um usuário definir vários critérios de taludes de corte e aterros e também para definir tantos taludes individuais como sejam necessários. (Ver Fig. 3).

\* Em geral, é frequentemente necessário modificar uma seção transversal típica de estrada durante um projeto, este controle do projeto da seção transversal é obtido através do comando TEMPLATE CHANGE SET. No entanto uma seção típica é independente de um problema e alinhamento particular, já que um TEMPLATE SET é definido unicamente para uma alternativa de



EACH SEGMENT MAY CONTAIN ANY NUMBER OF INDIVIDUAL LINKS

FIGURE 3 GENERALIZED TYPICAL ROADWAY CROSS-SECTION

projeto. O sub-comando CHANGE é usado para inserir abruptamente mudanças em uma estaca específica do alinhamento, enquanto o sub-comando TRANSITION é usado para inserir gradualmente mudanças entre limites de estacas especificadas.

\* Em termos de tempo de processamento podemos concluir que para um trecho de 10 Kms em estudo, o tempo transcorrido em ROADS está em torno de 9,0 minutos, este tempo inclui as 3 fases principais do ICES-ROADS devidamente detalhadas segundo a metodologia convencional do Projeto Geométrico de rodovias.

#### 2.4 - Vehicle Performance

Nesta última fase do ROADS é feita a simulação de performance dos veículos, considerando o percentual de cada um na composição de tráfego futura para um certo período de projeto. Existe uma série de comandos que podem ser usados para estimar a performance dos veículos e calcular os custos de operação por simulação de passagem dos veículos sobre um alinhamento e perfil previamente projetado. Entre os principais comandos utilizados nesta fase temos: TRAFFIC DATA, ROADWAY DESCRIPTION, PREDICT TRAFFIC PERFORMANCE, PLOT VEHICLE, PRINT SUMMARY COSTS.

Deverão ser especificados como valores adicionais, o custo do combustível e o tempo de percurso de cada tipo de veículo. É dado o comando PREDICT TRAFFIC PERFORMANCE para simular a performance de todo o tráfego para a alternativa de projeto em estudo. Um resumo de custos operacionais é solicitado mediante o uso do comando PRINT SUMMARY COSTS.

Mais detalhes de desempenho podem ser obtidos para cada tipo de veículos solicitando uma simulação independente de tráfego.

Podemos solicitar para plotagem na impressora: curva de velocidade, consumo de combustível e perfil vertical no sentido do estaqueamento positivo. O comando PLOT VEHICLE produz resultados de performance de veículos após cada iteração simulada.

O tempo médio transcorrido em ROADS para 10 Kms de

trecho em estudo está em torno de 15,0 minutos, este tempo inclui as 4 fases do ICES ROADS devidamente detalhadas segundo o Método Convencional de projeto geométrico de estradas.

### 3 - DIAGNÓSTICOS SOBRE O SUB-SISTEMA ICES-ROADS

Entre as principais conclusões, podemos indicar as seguintes:

\* Podemos definir ALIGNMENT e BASELINE no ICES-ROADS através do uso dos mesmos comandos, tais como: ALIGNMENT, STORE POINT, CURVE, DESCRIBE CHAIN, etc., que também pertencem ao ICES-COGO. São estes comandos que dão ao Engenheiro Rodoviário a capacidade e flexibilidade requeridas para definir o melhor alinhamento de maneira fácil e natural. A manipulação destes comandos é similar ao tratamento dado no COGO.

\* ALIGNMENT e BASELINE GEOMETRY deverão ser definidos independentemente no ROADS se qualquer das seguintes condições ocorre:

- Quando o alinhamento não é geometricamente coincidente com a baseline a qual os dados do terreno se referem.

- Quando o alinhamento é geometricamente coincidente com a baseline mais o estaqueamento é diferente.

- Quando a baseline não é geometricamente contínua, isto é, atravessa rios, lagos, regiões inacessíveis, etc., ou não é estaqueada continuamente.

- Quando for solicitada a inclusão de efeitos de curvatura horizontal na simulação de performance de veículos, teremos que definir o alinhamento geométrico independentemente.

\* Toda vez que o projeto geométrico computacional da rodovia for executado sem definição do ALIGNMENT, uma mensagem de erro será impressa e o processamento interrompido.

\* Todos os comandos do COGO são utilizados diretamente no ROADS, especialmente adicionados aos comandos de saída no caso de definições geométricas de projeto.

## "TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

\* O comando ALIGNMENT e sub-comandos associados resolvem uma variada série de problemas de alinhamentos horizontais, sendo que cada sub-comando define um ponto (POT) ou curva no ALIGNMENT que é automaticamente armazenado no CHAIN TABLE.

\* Para definir um alinhamento, consideramos POT:

- O ponto de início do alinhamento.

- Pontos intermediários do alinhamento que sejam pontos sobre a tangente ou pontos angulares (PT, PC ou PI).

- O ponto final do alinhamento.

\* Quando nas saídas gráficas (na impressora) não se especifica os fatores de escala vertical e/ou horizontal é assumido o valor 1,0 INCH/FEET, sendo que para obter estas saídas em metros basta a adoção de um fator de escala adequado.

\* O ROADS permite a entrada de até 10 tipos de materiais para corte e de um só tipo para atêrro. Estas camadas de materiais de superfície e sub-superfície são descritas independentemente e são referenciadas a um traçado comum.

\* Diversos alinhamentos, alternativas e modificações de alinhamentos podem ser estudados a partir de um único modelo de terreno previamente definido.

\* Uma importante característica do ICES-ROADS é a versatilidade que proporciona para alterar a seção transversal básica durante o projeto geométrico de uma rodovia, estas alterações são diversas, tais como: mudança das inclinações dos taludes, mudança de largura de plataforma da pista, mudança das dimensões das valetas, mudança da superelevação, etc. Estas mudanças podem ser transitórias ou permanentes, inclusive podemos até ignorar um trecho de estacas previamente selecionadas forçando o equilíbrio do material.

\* Em síntese, nas 3 fases principais do ROADS sempre utilizamos uma série de comandos e sub-comandos que são acionados sequencialmente para definir um ALIGNMENT, TYPICAL ROADWAY CROSS SECTION, etc.

## "TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

\* O perfil geométrico do projeto é descrito especificando para cada ponto de interseção vertical (VPI) uma apropriada combinação de stations, distâncias, altitudes, grades e comprimentos de curva.

\* A especificação de um alinhamento, perfil e eventualmente uma seção típica de uma série de mudanças padronizadas determina uma única alternativa de projeto. O nome da alternativa pode ser referido a um grupo de componentes individuais em execução sub-sequente e OUTPUT requeridos. Cabe mencionar que qualquer número de alternativas de projeto podem ser definidas.

\* Cada alinhamento armazenado é referente a um nome alfanumérico, podendo as curvas individuais contidas no alinhamento serem usadas para posteriores cálculos. As espirais devem ser definidas dando o comprimento e o ângulo de transição.

### 4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO ICES-ROADS

\* Com a experiência adquirida no uso do ICES - ROADS, podemos indicar as seguintes VANTAGENS:

- Durante as fases de execução de um projeto geométrico de rodovias, ao Engenheiro especializado concerne primeiramente fazer uma comparação geral das diversas alternativas de projeto (Via ICES-ROADS) e utilizar o mínimo número de mudanças padronizados. Na ocasião do projeto final, deverá ser dado mais ênfase aos detalhes geométricos de uma única alternativa de projeto e a série de mudanças padronizadas poderá se tornar mais numerosa para que todas as especificações de projeto sejam satisfeitas.

- O objetivo básico do uso do ICES-ROADS é incrementar diversas soluções nos problemas de projeto geométrico de estradas, pois facilita o desenvolvimento de um ou mais projetos preliminares para um particular problema em estudo, o qual no método convencional de projeto demanda uma série enorme de cálculos e tempo de execução.

## "TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

- Podemos afirmar que o ICES-ROADS é um sub-sistema de computação para projetos de Engenharia Civil utilizado especificamente, na solução de problemas associados com a locação e projeto geométrico de estradas, tais como: ferrovias, canais de hidrovias, diques, pistas de aeroportos, oleodutos e principalmente estradas de rodagem.

- A principal vantagem do uso das técnicas de projeto geométrico, via ICES-ROADS é a flexibilidade que dá ao Engenheiro especializado para definir o melhor alinhamento em planta de maneira fácil e sucinta. Na fase de locação haverá necessidade de um LAY-OUT geral e o projeto de várias alternativas de alinhamento em planta e perfil. A seguir, são determinados os efeitos ocasionados por cada uma destas alternativas e suas consequências físicas nos custos de construção, custo e locação de estruturas, custo e projeto de sistemas de drenagem, custo de manutenção da estrada, custo operacional de veículos e outros custos complementares.

\* Com a experiência adquirida no uso do ICES-ROADS, podemos indicar as seguintes DESVANTAGENS:

- Uma vez definido o lote de cadernetas de campo (levantamentos convencionais) a serem perfuradas para seu uso no estudo de projeto geométrico via ICES-ROADS, há necessidade de verificar se os elementos nelas existentes são consistentes, isto é, se os dados estão colocados nos lugares adequados, com letra legível, com as unidades métricas pré-estabelecidas e com o estaqueamento em ordem crescente.

Após a perfuração destes dados, esta consistência comentada linhas acima deverá ser executada por um programa suplementar que nos criará um arquivo com os dados consistentes que virão a constituir o SURFACE DATA do ROADS num FIXED FORMAT. Deveremos, pois, imprimir um relatório de eventuais erros, existentes. Uma vez definido o modelo do terreno, o mesmo deve ser traduzido em termos dos comandos do ROADS. Em síntese, é um trabalho braçal gerar dados topográficos para o sub-sistema ROADS a partir das cadernetas de campo, pois o ideal seria perfurar os dados já no formato mais adequado ao ROADS, mais para isto é necessário de uma caderneta especial

e de outra sistemática de trabalho no campo. Outrossim, devemos comentar que no caso de levantamentos aerofotogramétricos mediante o uso de um restituidor aviôgrafo e mais um dispositivo digitalizador podemos determinar os dados topográficos de seções transversais, que podem ser usados como entrada do ROADS após uma devida conversão dos dados para o FIXED FORMAT.

- Com relação ao Diagrama de Bruckner, o relatório de saída do ROADS para o cálculo de volumes apresenta, na Ordenada do diagrama de massas (MDO) a somatória algébrica de todos os cortes e atêrros. Este fato tem a vantagem de se saber o volume total de material a ser movimentado, mais tem a DESVANTAGEM de não informar o volume realmente utilizado para atêrros, já que não se usa material de 3a. categoria (rocha) para essa finalidade. Haverá então necessidade de montar um sistema suplementar que calcule diversas somatórias independentes de até 3 tipos de material a ser escavado. Uma dessas somatórias é a que exclui o volume de 3a. categoria servindo somente de informação de material a ser realmente utilizado nos atêrros. A grande DESVANTAGEM deste sistema interface, é com relação à entrada de dados, pois ela normalmente é feita via CARTÃO por transcrição manual de relatórios impressos pelo ROADS emitidos pelo comando MATERIAL VOLUMES, mais o ideal seria que esta entrada fosse via fita magnética.

- Com relação ao projeto de seções transversais, também o uso de sub-sistema ICES-ROADS tem resolvido em grande parte o problema. No entanto o projeto de terraplenagem, conforme é exigido atualmente pelo DNER não é atendido plenamente pelo ICES-ROADS. Para exemplificar posso mencionar que o comando MASS HAUL PLOT do Roads produz na impressora um diagrama de massas que mesmo dando condições de uso para Orientação de Terraplenagem é rejeitado plenamente pelo DNER. O mesmo tem acontecido com o comando PLOT CROSS SECTIONS que produz na impressora as seções transversais completas de cada station do projeto. Em vista do mencionado linhas acima, houve necessidade de preparar programas suplementares de interface para projeto de seções transversais. A desvantagem deste sistema interface é a mesma mencionada anteriormente, isto é,

## "TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

a entrada de dados é feita normalmente via cartão por transcrição manual de relatórios impressos pelo Roads emitidos pelo comando PRINT CROSS SECTIONS, quando o mais rápido e lógico seria que esta entrada fosse via fita magnética também.

### 5 - SUB-SISTEMA ICES-COGO

É um sub-sistema do ICES que soluciona problemas geométricos nas seguintes áreas:

- Levantamentos topográficos e mapeamentos
- Rodovias, ferrovias, aquavias, e projeto de aeroportos
- Estruturas, pontes e projetos de edificações
- Faixas preferenciais, aquisição de terrenos
- Planejamento e controle de construções
- Layout e subdivisão de projetos
- Levantamentos cadastrais
- Planejamento urbano e projeto geométrico

O sub-sistema consta de uma linguagem, um jogo de sub-rotinas de processamento e um jogo de arquivos de informação.

A linguagem para utilização do COGO exige expressões naturais dos problemas geométricos das áreas acima mencionadas, o sub-sistema pode ser aplicado para uma variedade de problemas geométricos em qualquer área que envolve pontos, linhas, curvas e polígonos em dois ou três dimensões espaciais.

Em síntese, o ICES-COGO é um sub-sistema de programação orientado para problemas de Engenharia Civil que se aplica principalmente na solução de problemas geométricos comuns, em cálculos topográficos e locação e projeto de estradas. O sub-sistema exige que o Engenheiro esteja familiarizado com a terminologia destes problemas tais como AZIMUTH, DEFLECTION, and TRAVERSE ADJUSTMENT.

Na prática, o engenheiro usando um croquis do seu problema, o descreve e resolve como se ele o estivesse solucionando à mão. Como um guia ele segue a descrição dos comandos

dos mostrados no manual COGO.

#### 5.1 - Bases do Sub-Sistema

O sub-sistema ICES-COGO é baseado no uso repetitivo de vários programas diferentes, de dados de armazenagem comum. Esta área de dados comuns é conhecida como "COORDINATE TABLE". O engenheiro usa o vocabulário COGO para locar pontos de uma poligonal, loteamento, subdivisão ou ao longo de algum alinhamento. Os pontos podem ser usados em cálculos posteriormente para outros comandos COGO e podem ser impressos para imediato uso. O engenheiro dá a cada ponto um número de identificação e refere-se a este ponto pelo número sempre que for necessário. A tabela de coordenadas consistindo de 999 pontos reside no disco, somente 50 pontos são armazenados da parte mais importante do arquivo em qualquer vez processada.

Os dados usados nestes programas consistem principalmente de dados obtidos no campo (ângulos e/ou distâncias) e coordenadas de pontos fixados (coordenadas cartesianas e cotas) já disponíveis.

Estes dados de pontos fixados são indicados para recuperar códigos e armazenar em uma área de dados externos referidos como "point data table" (PDT). Os PDT são armazenados em disco e permitem acesso direto para todos os programas. Isto é, pré-requisito para a ótima utilização de todos os dados de processamento no campo de geodésia e agrimensura.

Os dados de novos pontos fixados obtidos durante os processamentos são também armazenados em PDT após concernentes coordenadas geodesicas (horizontais) e, se precisar, cotas também tem sido determinadas. Então, os dados de novos pontos fixados são disponíveis para seu uso em consequentes processamentos.

Baseado em medidas geodésicas e técnicas de computação, os seguintes resultados são obtidos:

- a) Ângulos e distâncias para a implementação de levantamentos topográficos.
- b) Áreas novas ou alterações de parcelas.

c) Coordenadas e altitudes de novos pontos fixados.

Os dados de entrada são projetados de tal maneira que a maioria dos dados obtidos no campo podem ser incluídos em formas apropriadas durante as atividades topográficas.

O LAYOUT de relatórios de saída permite seu uso no campo.

## 5.2 - Problema padrão

Para cada problema exemplo, o problema padrão pode ser enunciado como segue:

Dada a informação mostrada no problema enunciado, de terminar e imprimir:

- a) Coordenadas de todos os pontos numerados.
- b) Valores para todos os pontos conhecidos e variáveis escalares não conhecidas.
- c) Pontos de curva e parâmetros de todas as curvas numeradas.
- d) Descrição de todas as cadeias nomeadas e a área quando fechada.

## 6 - VANTAGENS DO USO DO SUB-SISTEMA ICES-COGO

Entre as maiores vantagens oferecidas pelo sub-sistema podem-se citar:

\* Os programas podem ser escritos rapidamente pelo Engenheiro especializado sem necessidade de conhecer profundamente programação de computadores. Não há limitações de tamanho para os programas, que podem ser tão grandes quanto se queira, não se restringindo assim a capacidade de memória do computador.

\* Um problema completo pode ser resolvido escrevendo um simples programa em ICES-COGO. Devido à extrema facilidade de programar neste sistema, pode-se escrever um novo programa para cada problema específico. Desta forma, não há aquele condicionamento do problema que se quer resolver ao programa

existente.

\* São usados pelo ICES-COGO uma série de comandos que correspondem a operações básicas da Engenharia Civil, como cálculo da área de uma poligonal ou do alinhamento de uma curva.

\* Os dados necessários à execução de cada operação são incluídos como parte do comando. Não existe, também, rigidez quanto ao posicionamento destes dados no cartão.

\* Os croquis e resultados impressos são associados aos dados correspondentes.

\* A capacidade de resolver problemas do COGO pode ser ampliada pela introdução de novos comandos.

## 7 - CONCLUSÕES FINAIS

### 7.1 - Do sub-sistema Ices-Roads

O sub-sistema ROADS foi desenvolvido objetivando-se a solução de qualquer problema relativo ao projeto de estradas, tais como: projeto geométrico, de pavimentação, de terra plenagem e de performance de veículos. O preço que se paga por todas essas disponibilidades é o tempo de processamento bem como o tamanho da memória bem maiores do que os que se te ria fazendo-se um sistema específico para a solução de um dado problema.

Por outro lado, a flexibilidade que a linguagem do ROADS permite ao usuário é compensadora, pois num sistema mais particular e objetivo, dificilmente se teria essa facilidade de comunicação, mesmo admitindo que o ROADS emite relatórios com poucas facilidades de edição. Com relação à verificação dos dados de entrada, isto é, um pré-requisito inevitável para computação de levantamentos topográficos, devido a existên cia de variados erros grosseiros no trabalho de campo. Por outra parte, devemos mencionar que as sub-rotinas do ROADS produzem apropriadas mensagens de erro sem interrupção do pro cessamento do programa. Diferentes tipos de erro de entrada podem ocorrer, é necessário pois, associar as mensagens de

êrro tanto quanto possível com os concernentes dados de entrada.

## 7.2 - Do sub-sistema Ices-Cogo

A verificação de dados de entrada é um pré-requisito essencial, especialmente na computação de levantamentos topográficos, para a efetiva utilização do sistema. Os programas COGO tem sub-rotinas que produzem apropriadas mensagens de êrro sem interrupção do processamento do programa. Diferentes tipos de êrros de entrada podem ocorrer, sendo necessário associar as mensagens de êrro tanto quanto possível com os concernentes dados de entrada. Esta associação é facilitada pela série numérica de dados de entrada. É entretanto necessário, que as mensagens de êrro contenham o número de série do concernente cartão de entrada, pois a entrada e a saída podem ser associados com qualquer outro cartão. Embora os programas de computação podem ser executados sem esta numeração, é recomendado uma série numérica de entrada pelas razões mencionadas acima.

No concernente à compensação de poligonais, os programas COGO tem acusado resultados ligeiramente diferentes aos métodos convencionais, o qual consideramos seja devido principalmente ao tipo de ajuste angular e linear executado pelo comando CLOSURE. Este comando executa o ajuste linear da poligonal dentro do limite de ONE PART IN 2000, assim a poligonal ficará dentro das especificações. Para o caso das tolerâncias lineares e angulares serem mais rigorosas na compensação de poligonais, recomendamos o uso de outros sistemas.

## 8 - AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Dr. Otto Bekhman e demais funcionários do Centro de Processamento de Dados da Hidroservice - Engenharia de Projetos, pelos valiosos incentivos prestados; ao Departamento de Engenharia de Transportes da Faculdade de Engenharia de Limeira da Universidade Estadual de Campinas, e a todos que direta ou indiretamente possibilitaram a confecção deste trabalho.

"TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA"

9 - REFERÊNCIAS

- Suhrbier, H. John, 1968. ENGINEER'S REFERENCE MANUAL - ICES ROADS MIT, Publ. R68-9. Cambridge, Massachusetts - USA.
- Suhrbier, H. John, 1968. A GENERAL DESCRIPTION - ICES ROADS MIT, Publ. R68-1. Cambridge, Massachusetts - USA.
- Suhrbier, H. John, 1968. A LEARNER'S GUIDE TO ICES ROADS MIT, Publ. R68-86. Cambridge, Massachusetts - USA.
- Schumacker, Betsy, 1967. AN INTRODUCTION TO ICES MIT, Publ. R67-47. Cambridge, Massachusetts - USA.
- ENGINEER'S GUIDE TO ICES COGO, Department of Civil Engineering - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. R67-46, August, 1967.
- EXAMPLE PROBLEMS FOR ICES - COGO I, Department of Civil Engineering MIT, Publ. R68-6. Cambridge, Massachusetts - USA, 1968.
- IBM - Civil Engineering Package, 1970  
Highway Design System - HIDES for IBM 1130.
- IBM - Civil Engineering Package, 1970  
Geodetic Program System for Geodesy and Surveying - GEOPS for IBM 1130.
- IBM - Application Program, 1967.  
System Manual - Civil Engineering Coordinate Geometry (COGO) for IBM 1130.
- IBM - Application Program, 1968.  
User's Manual - Civil Engineering Coordinate Geometry (COGO) for IBM 1130.
- Prado, S. Lafayette - Aplicação de Computadores Eletrônicos à Engenharia Rodoviária, IPR, Publ. 143-66, 1966.
- Lederman C. - Sub-sistema ICES-ROADS, HIDROSERVICE, 1975.
- Carrion, W. Carlos - Considerações Gerais sobre o uso do sub-sistema ICES-ROADS no projeto de Rodovias, HIDROSERVICE, 1977.