

SP 30/05/83

NT 089/83

## Controle de Tráfego em Área - Sistema Semco

**C.F. Bozola, P.T.S. Cardoso, C.K.Seó e W. Fabichak**

O sistema SEMCO - Semáforos Coordenados implantado na cidade de São Paulo e em plena operação desde março/82, controla e supervisiona eletronicamente cerca de 470 cruzamentos do centro expandido da cidade. O presente trabalho objetiva descrever sucintamente a arquitetura e as funções do sistema Semco.

### Introdução

Anteriormente à implantação do sistema SEMCO os cerca de 2500 cruzamentos da cidade de São Paulo controlados por semáforos possuíam equipamentos que, em sua maioria, possibilitavam apenas uma programação única de tempos de verde, amarelo e vermelho, não havendo possibilidade de se considerar a evolução diária, semanal ou anual do fluxo de veículos no cruzamento.

Em apenas 20% das interseções haviam equipamentos de fabricação estrangeira que admitiam até 3 programas sendo estes utilizados para as horas de pico da manhã, horas de pico da tarde e um programa para os demais horários.

Estes equipamentos, além do desempenho limitado face às necessidades do tráfego, eram de funcionamento eletromecânico com projetos antigos e dificuldades de manutenção e importação de peças.

A evolução constante da frota de veículos e a consciência da sensibilidade do tráfego ao controle semafórico, levou a municipalidade de São Paulo a decidir melhorar esse controle pela aquisição e implantação de um sistema moderno e confiável.

Neste sentido um grupo de técnicos foi designado para elaborar as especificações do novo sistema. Trinta instalações em cidades européias, americanas e japonesas foram visitadas para se absorver o estado da arte nesta matéria e possibilitar que as especificações incorporassem os aspectos funcionais e técnicos mais positivos de cada sistema.

Estas especificações foram colocadas em concorrência pública da qual participaram as empresas Philips do Brasil Ltda., Siemens do Brasil S/A e Plessey do Brasil Indústria e Comércio Ltda., sendo vencedora esta última. O contrato foi assinado em junho de 1978 por um valor de Cr\$ 434 milhões de cruzeiros (cerca de US\$ 30 milhões) compreendendo o fornecimento de todos os equipamentos, obras e serviços necessários ao funcionamento pleno do sistema, bem como a operação do mesmo por período de 6 meses após sua instalação e manutenção por um período de 12 meses.

O contrato previa um prazo para implantação de 36 meses, que foi posteriormente aditado para 45 meses, tendo ocorrido a inauguração das instalações em 31 de março de 1982.

O índice de nacionalização atingido foi superior a 80%.

### Definições e Parâmetros de Controle

Considerando a figura 1, no quadro QA, representamos os cruzamentos XY XZ das ruas X,Y e Z, e os respectivos sentidos de tráfego, representados pelas flechas desenhadas.

No quadro QB representamos os "estágios" A e B dos cruzamentos XY e XZ. Estágio é um estado do cruzamento. No estágio A, cruzamento XY, o movimento da rua X é permitido e o da rua Y é proibido.

No quadro Qc podemos notar a distribuição de verde, amarelo e vermelho para os movimentos das ruas X, Y e Z. Na passagem do estágio A para B, temos um período de amarelo ou vermelho total, de segurança, que definimos como sendo o "entre-verdes".

Definimos também o "ciclo", como sendo o período de tempo compreendido entre duas passagens sucessivas pelo mesmo estágio (100 segundos); "defasagem" como sendo a diferença entre os horários de acionamento do estágio A de duas interseções vizinhas (10 segundos); e "split" de um estágio como sendo a relação entre a duração de uma estágio e o ciclo correspondente.

Tendo em vista que os "entreverdes" são constantes para um determinado cruzamento, e função da geometria do mesmo, as informações de ciclo e "split" definem um "plano" do cruzamento. No caso do cruzamento XY poderíamos ter diversos planos com ciclos diferentes (60 e 120 segundos, por exemplo), e "split" do estágio A também diferentes (30% e 40%, por exemplo). Então poderíamos ter os diversos planos (de números 1, 2, 3, 4 e 5) para um determinado cruzamento.

Considerando que o comportamento do tráfego de veículos é função basicamente do horário do dia e do dia da semana, definimos "tabela de horários" para um cruzamento, em função do dia da semana, como sendo uma série de eventos constituídos do horário (hora, minuto, segundo) e o plano a ser acionado naquele instante.

No quadro QA, cruzamento XY, estão representados os laços detetores de veículos (magnéticos e embutidos no piso asfáltico) na saída do cruzamento. O "fluxo" é a quantidade de carros que o detector D1 conta, por unidade de tempo, proveniente das ruas X e Y. O "Fluxo de Conversão" é a parcela do fluxo que vem da rua Y e converte para X. "Ocupação" é um parâmetro proporcional ao congestionamento da via. Os detetores instalados pelo Semco medem dois parâmetros que são o fluxo e a ocupação da via. O fluxo de conversão é derivado do fluxo dependendo do estágio no período de tempo.

"Paradas" no cruzamento XZ, na rua X, é o número de carros que são obrigados a parar devido o estágio presente. "Atraso" do cruzamento XZ, na rua X, é a soma dos tempos dos veículos que estiveram parados no cruzamento, num certo intervalo de tempo. "Velocidade" é a velocidade média com que os veículos trafegam de XY e XZ.

### Arquitetura do Sistema

O sistema implantado controla 470 cruzamentos e coleta informações de 670 detetores de veículos em 270 interseções, abrangendo as áreas mais críticas da cidade que estão divididas em 44 sub-áreas com características de trânsito próprias, ou cujos cruzamentos têm operação interdependente. O Centro de Controle de Tráfego - CCTR é o ponto de convergência do sistema e onde se encontram os computadores, os consoles de operação e o painel de mímico que representa a área sob controle.

Interligando os cruzamentos controlados e os locais de detecção de veículos ao Centro de Controle, uma rede subterrânea de transmissão de dados com 140 Km de extensão foi construída.

Segue descrição dos diversos módulos do sistema. A figura 2 apresenta as interligações e hierarquia desses módulos.

### Módulo de Controle Local - MCL

É constituído pelos controladores, semáforos e postes de cada interseção.

O controlador emprega tecnologia digital utilizando um microprocessador Intel 8085 e dispõe de até 6 estágios, tendo os seguintes modos de funcionamento em ordem crescente de prioridade:

- Controle local - este modo de operação é atingido nos casos em que o controle central ou o sistema de transmissão de dados apresentem falha, passando o controlador automaticamente

para esta condição em no máximo 30 ms. Nesta situação, a temporização dos estágios é fornecida por um oscilador a quartzo, sendo as mudanças de plano também feitas com base neste relógio que fornece saída em horas, minutos, segundos e dias da semana. Oito planos de tráfego são disponíveis no controlador quando em modo local de operação. No caso de falta de energia elétrica no cruzamento, toda a programação armazenada no controlador é preservada por meio de uma bateria com autonomia para doze horas.

- Controlador manual - possibilita a operação do controlador no próprio local, sendo este modo de funcionamento destinado a situações especiais em que se fizer necessário esta intervenção.
- Controle central - é o modo de operação normal do sistema, estando os controladores sob comando dos computadores centrais. Nesta condição, trinta planos de tráfego, armazenados em discos magnéticos, são disponíveis para cada interseção.
- Amarelo intermitente - neste modo de operação todos os semáforos de veículos passam a amarelo piscante e os semáforos de pedestres são desligados. Este estado pode ser atingido por solicitação do operador, ou por programação prévia para determinado horário, ou ainda, por situações que levariam a condições inseguras.

As condições de insegurança que originam o amarelo intermitente são: detecção de verdes conflitantes em qualquer estágio; quando não ocorrer mudança de estágio em um tempo pré-estabelecido; quando os sinais luminosos de alguma aproximação deixam de ser alimentados.

Em todos os modos de operação, as temporizações de segurança que estão armazenados em cada controlador jamais podem ser desrespeitadas, a menos do amarelo intermitente quando originado por constatação de condições inseguras que é de entrada imediata.

#### Módulo de Detecção de Veículos - MDV

É formado pelos laços detetores que estão instalados sob o asfalto, nas vias de tráfego, e pelo equipamento de detecção e contagem que está alojado no gabinete do controlador mais próximo de cada local de detecção de veículos.

O laço detetor é constantemente excitado por um oscilador a cristal e a massa metálica do veículo ocasiona um deslocamento de fase deste sinal. Na entrada do equipamento de detecção o sinal do oscilador é continuamente comparado com o do laço, gerando a informação para o controlador.

Nas vias onde faz detecção de veículos, um arranjo de vários laços detetores é empregado em função do número de faixas de tráfego. Este arranjo de múltiplos laços detetores tem por objetivo limitar a imprecisão máxima de contagem de veículos 2% nas diversas condições de fluxo.

A informação dos laços detetores permite também determinar a taxa de ocupação da via a partir da porcentagem de tempo no qual os laços estão ocupados.

As informações de fluxo e ocupação são enviadas diretamente ao centro de controle, não sendo processadas pelo controlador local.

#### Módulo de Transmissão de Dados - MTD

É constituído pela estação central - UTC, que faz a interface com os computadores centrais, e pelas estações remotas - UTR, que fazem interface com os controladores e detetores de veículos.

A transmissão é feita pela rede de cabos de pares de bitola 22 AWG, construída exclusivamente para este fim.

As mensagens de dados em paralelo, vindas dos computadores, são transformadas em mensagens de dados em série. Estes dados digitais modulam, por desvio de frequência - FSK, portadores na faixa de voz. Os sinais modulados são multiplexados no tempo e em frequência. A técnica de multiplexagem empregada permite a conexão de até 16 estações remotas em cada dois pares da rede de transmissão de dados, sendo utilizado um máximo de 8 estações atualmente.

As mensagens enviadas pelos computadores e recebidas dos controladores e detetores são formadas por 3 palavras de 8 bits, acompanhadas dos bits de sincronismo e paridade.

A cada segundo uma mensagem de controle é enviada dos computadores centrais para todos os controladores e uma mensagem de resposta é recebida dos controladores e detetores.

Uma mensagem de controle contém o endereço da estação remota à qual se destina, indica ao controlador para qual estágio ele deve ir ou se está sendo solicitado amarelo intermitente, e fornece o pulso de sincronismo para o relógio do controlador, a cada 10 minutos.

Uma mensagem de resposta contém dados dos detetores de veículos, indica se o controlador está sob controle central; local, manual ou em amarelo intermitente, indica qual o estágio que está em andamento, indica a ocorrência de falha no equipamento e confirma o sincronismo do relógio do controlador.

Nas estações remotas a recepção é o inverso do ocorrido na estação central, ou seja, os sinais analógicos seriais recebidos são demodulados e convertidos em sinais digitais paralelos e transferidos ao controlador.

O processo de transmissão de informação dos controladores para o Centro de Controle é análogo ao acima descrito, na direção oposta.

#### Módulo de Controle Central - MCC

É constituído por dois computadores DECPDP 11/70, com 384k bytes de memória cada um, tendo como função o comando e supervisão dos 470 cruzamentos controlados e dos detetores de veículos instalados em 670 aproximações de 270 cruzamentos dentro da área de controle.

Um console de operação com dois terminais de vídeo coloridos e uma teleimpressora, estão conectados a cada computador. Nestes consoles, os operadores de tráfego dispõem de todas as informações da situação operacional do sistema, podendo atuar sobre cada controlador de tráfego.

Os computadores de Módulo de Controle Central também fornecem informações, pelos LED's em um painel mímico representando toda a área controlada, das condições de tráfego, do modo de operação de cada controlador e da existência de falha em qualquer equipamento de rua.

#### As principais funções MCC são:

- Controlar e supervisionar o funcionamento dos controladores, trocando com eles mensagens de controle e resposta a cada segundo.
- Selecionar os planos de tráfego, que serão aplicados a cada sub-área, por tabela de horário ou por reconhecimento de padrão de tráfego.
- Executar programas de teste para os controladores.
- Armazenar informações referentes às falhas de cada equipamento para posterior tratamento pelo MSG.
- Manter registro de todas as intervenções do operador e eventos do sistema.

#### Módulo de supervisão geral - MSG

É constituído de um computador idêntico aos do Módulo de Controle Central tendo como periféricos: 2 unidades de fita magnética, 3 unidades de disco, 2 teleimpressoras, 2 impressoras e 3 unidades de vídeo.

#### As principais funções do MSG são:

- Geração de planos de tráfego (off-line) a partir dos dados dos detetores de veículos previamente armazenados.

- Elaboração de estatísticas de falhas dos equipamentos do sistema, e relatórios de fluxo de veículos e taxa de ocupação de vias dentro da área de controle.
- Execução de programas de simulação de tráfego para teste do "software" de aplicação.
- Atualização do banco de dados contendo informações sobre os planos de tráfego utilizados e a configuração dos controladores e detetores.

Além das funções acima mencionadas, o computador do MSG também sinaliza, na console de manutenção, a detecção de falha em qualquer equipamento do sistema e está capacitado a substituir qualquer dos dois computadores do MCC que apresente falha.

#### O "Software" e as Facilidades Operacionais

O sistema operacional utilizado é o RSX - 11M, e o "software" aplicativo foi desenvolvido nas linguagens CORAL, MACRO 11 e FORTRAN.

O "software" do MCC controla os equipamentos de rua baseando-se em duas estratégias. A primeira é composta de planos previamente otimizados pelos engenheiros de tráfego e as respectivas tabelas de horários (uma para cada dia da semana). A segunda se baseia nos dados de fluxo provenientes de alguns detetores previamente selecionados, de uma tabela de decisão e dos planos acima; é a seleção automática de planos por reconhecimento de padrão (SAPR). Adicionalmente o operador pode intervir selecionando planos por comandos, ou mesmo modificando o plano corrente.

Para facilitar o entendimento dividiremos o "software" em grupos de programas. A figura 3 é um resumo da estrutura do "software" do MCC.

#### Grupos de entrada e saída

O programa ACIONA TABELA DE HORÁRIOS (ATH) varre a tabela do dia correspondente ao dia corrente e aciona o TROCADOR DE PLANOS (TL), que o implementa. Pode também desinibir ou inibir O RECONHECE PADRÃO (SAPR). O TRADUTOR DE PLANO (TRL) transforma as informações de ciclo, "split", e defasagem em mensagens de controle e as armazena no DADOS DE CONTROLE que serão enviados à UCT. O programa VERIFICA INDICAÇÃO compara as mensagens dos CT com o plano corrente e procede uma verificação de submissão do controlador. As falhas detectadas são marcadas nas matrizes ESTADO DE EQUIPAMENTOS. Adicionalmente existem programas de testes e monitoração dos equipamentos de rua que geram arquivos em disco com os resultados dos testes ou monitoração.

#### Grupo de Detetores

O programa PARADA ATRASO CONVERSÃO deriva o fluxo de conversão do fluxo e avalia as paradas e o assunto por um modelo de fila que se forma entre os laços detetores e a respectiva linha de parada de veículos. O programa ANALISA ALARME, analisa o comportamento do fluxo e ocupação com padrões previamente definidos pelos engenheiros de tráfego (TABELA DE ALARME) e marca alarmes em ESTADOS DOS EQUIPAMENTOS. Adicionalmente são gravados em disco magnético os parâmetros fluxo, ocupação, fluxo de conversão, parada e atraso de 5 em 5 minutos.

#### Grupo de Manutenção

O programa ESTATÍSTICA DE FALHAS grava todas as informações de ocorrência de falhas para cálculo dos parâmetros *MTBF* (*mean time between failure*), *MTTR* (*mean time to repair*) e *NF*

(número de falhas) no período (dia, semana, mês e ano). Adicionalmente envia as informações ao MSG para serem mantidas em duplicata.

#### Comunicação com os operadores

O programa DETECTA MUDANÇA DE ESTADO, na mudança de qualquer informação em ESTADO DOS EQUIPAMENTOS, aciona o GERA MENSAGEM que configura a respectiva mensagem gravando a no LOG DO SISTEMA. Os programas LISTA LOG, LISTA DETETORES, LISTA PLANOS, LISTA TH, LISTA ESTADO e LISTA ARQUIVOS proporcionam ao operador uma gama enorme de informações (não representadas na figura 3). Toda comunicação com o operador é feita pelo COPER (comunicação com os operadores) que nos casos de entrada de comandos repassa as informações ao ANALISADOR DE COMANDOS. Este as analisa sintaticamente e aciona o respectivo programa.

#### Grupo imagens semi-gráficas

O operador pode observar a geometria de um cruzamento e as mudanças de estágios pelas imagens coloridas. O programa ATUALIZADOR observa as mudanças de DADOS DE INDICAÇÃO e atualiza a imagem no terminal.

#### Grupo SAPR

A região da cidade controlada por um MCC foi subdividida em sub-áreas que são pequenos conjuntos de cruzamentos com uma certa característica intrínseca de tráfego. O SAPR (Seleção automática de planos por reconhecimento de padrão) seleciona um dos 30 planos previamente otimizados, pelos dados de detetores e de uma tabela de decisão, e aciona o TROCADOR DE PLANOS para implementá-lo na sub-área em questão.

O SAPR pode ser acionado pela tabela de horários ou pelo operador.

#### Grupo do sistema

Este grupo se compõe de diversos programas, e os principais seguem descritos. O CEPROC (comunicação entre processadores) é o responsável pelo fluxo de informações entre o MCC e o MSG. O Scheduler (não representado na figura 3) aciona os programas de entrada e saída de detetores que rodam ciclicamente e de forma ordenada, faz a "leitura" "escrita" na UTC, aciona o painel mímico e verifica o relógio central do sistema, principalmente.

O "software" do MSG se compõe resumidamente dos seguintes grupos de programas: comunicação com os operadores, emissão de relatórios, preparação de dados e sistema.

Os grupos de comunicação com os operadores e sistema são análogos aos do MCC com simplificações decorrentes da arquitetura do MSG.

#### Grupo Emissão de Relatórios

Este grupo se compõe de programas que emitem relatórios de detetores, manutenção e uso de planos.

Os relatórios de detetores podem ser por região, sub-área ou cruzamento; de diversos dias ou dias selecionados (só sábado, por exemplo); de 5, 10, 15, 20, 30 ou 60 minutos; ou relatórios resumo (horários de pico, por exemplo). Os de manutenção podem ser por região, sub-áreas, cruzamento ou tipo de equipamento e apresentam as estatísticas NF, MTBF e MTTR. Os gráficos de uso de planos representam a frequência do uso dos 30 planos por sub-área ou cruzamento.

Grupo preparação de dados

Este grupo se compõe de programas de consistência de dados fonte e transferência dos respectivos objetos ao respectivo MCC. Os dados são: configuração dos equipamentos, planos, tabelas de horários, tabela de decisão, tabelas de alarmes e imagem semi-gráficas.

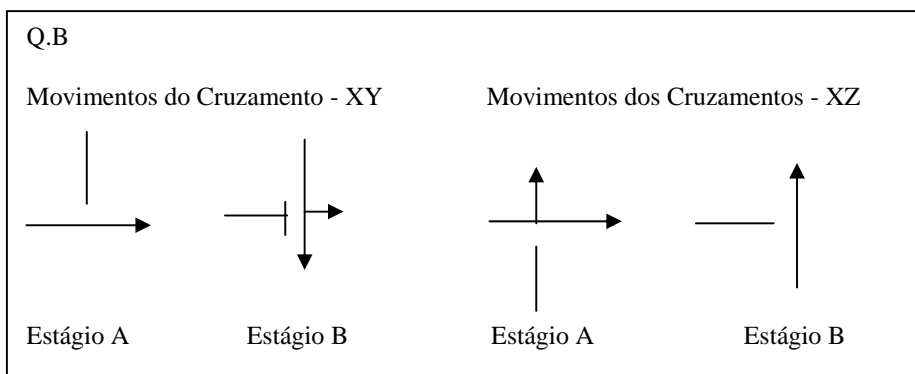
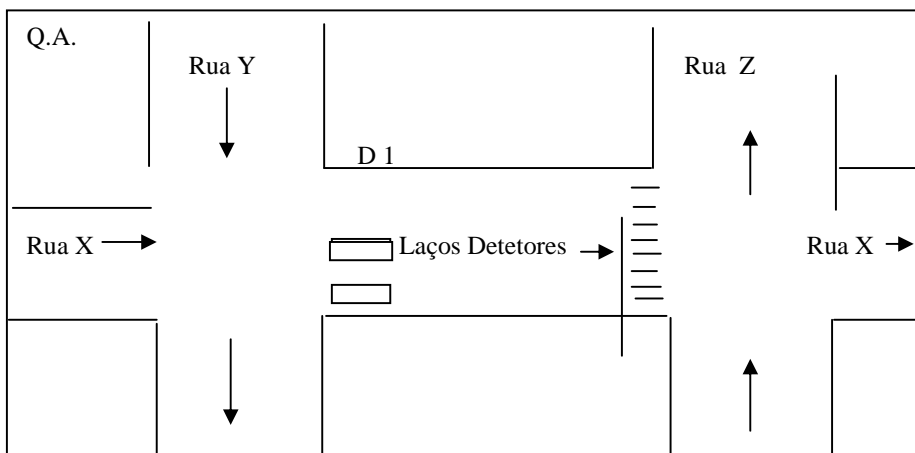
Faz parte deste grupo o programa Transyt para otimização de planos de tráfego.

O simulador é um conjunto de programas que podem rodar no MSG e que simulam o comportamento dos equipamentos de rua. Quando em uso o "software" do MCC não envia as informações de controle à UTC, e sim ao MSG pelo CEPROC. O simulador foi usado para testar alterações que foram e estão sendo implementadas.

Participação da CET

A CET constituiu equipe própria, com longa experiência em sistemas de controle e engenharia de tráfego, que visitou cerca de 30 sistemas de controle de tráfego em diversos países. Esta equipe, que especificou o sistema a ser implantado em São Paulo, e que acompanhou todas as fases do projeto, hoje renovada, conseguiu absorver uma tecnologia que tem servido de guia e apoio à capacitação nacional no setor.

Figura 1 - Parâmetros de Controle





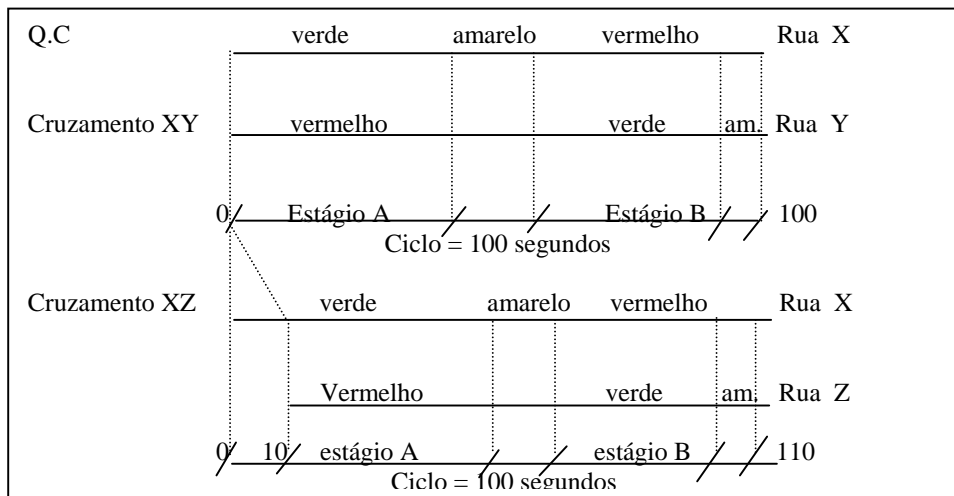


Figura 2 - Módulos do Semco

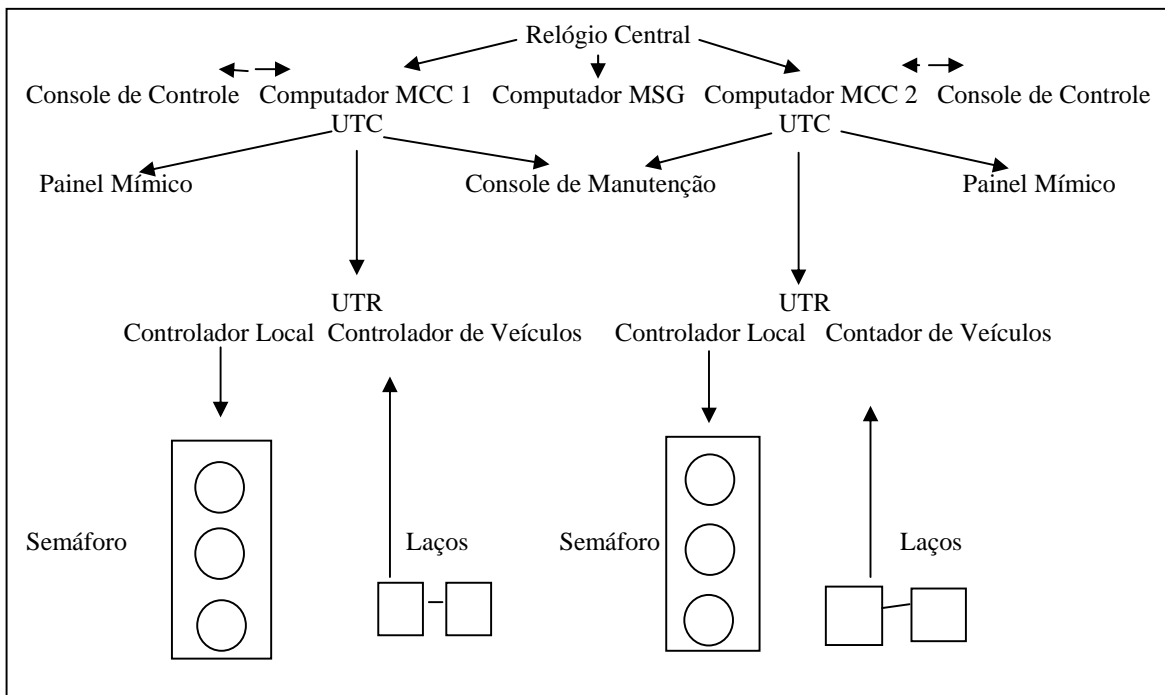
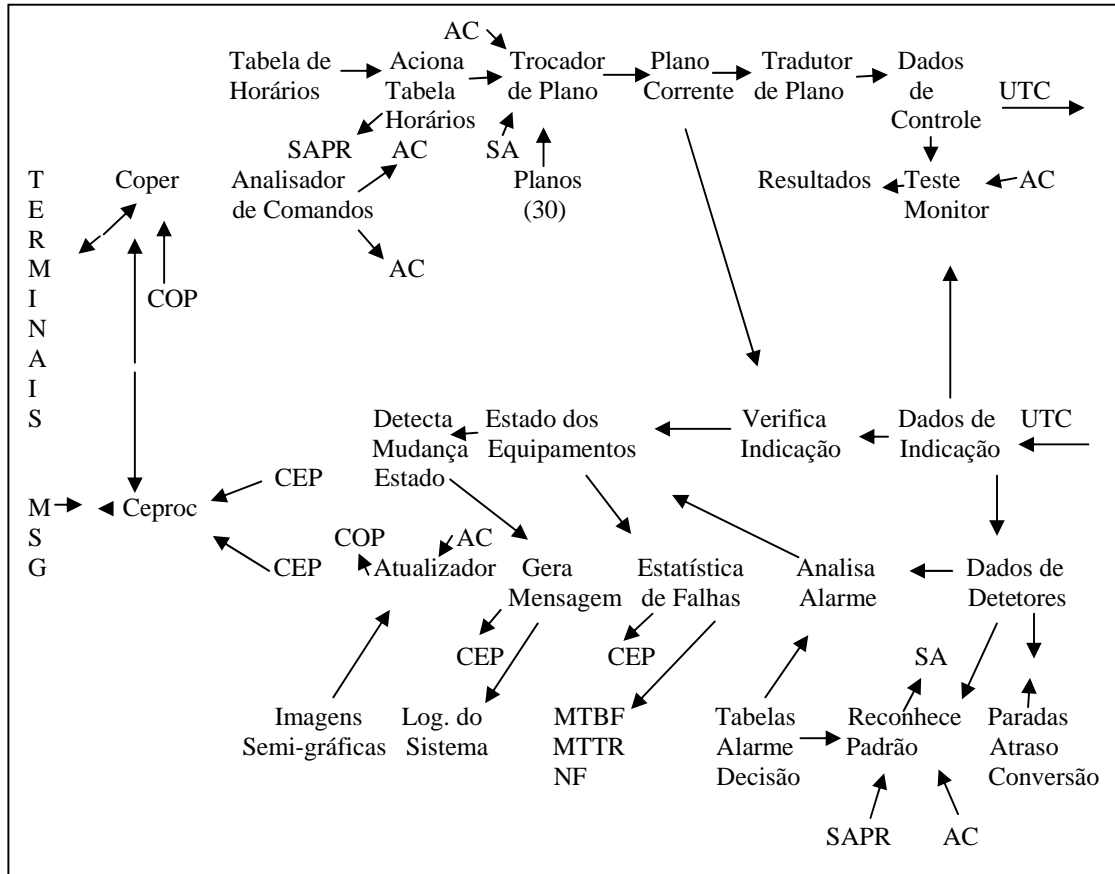




Figura 3 - Estrutura Geral do "Software" do MCC



Bibliografia

*A escolha de um sistema de tráfego para São Paulo*  
Eng.º Roberto Salvador Scaringella

*Aspectos do Equipamento Semco*  
Eng.º Paulo Thadeu Souza Cardoso

*O "software" do Semco*  
Eng.º Célio Fernando Bozola

Obs.: os trabalhos acima foram apresentados no Simpósio Semco, patrocinado pela EBTU, SEI, FDTE e CET, em novembro de 1982.

-----  
Autores  
Célio Fernando Bozola - SCO  
Paulo Thadeu Souza Cardoso - SCO

Walter Fabichak - SCO

Carlos Kazuyoshi Seo - SCO

Nota: este trabalho foi preparado para o 1º Congresso Nacional de Automação Industrial - Conai, patrocinado pela Sei, Sucesu - SP e Andei.