

TRANSCOOT: UMA INTERFACE LÓGICA PARA MODELAR E GEOREFERENCIAR DADOS DINÂMICOS DO TRÁFEGO URBANO

Hamifrancy Brito Meneses

Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza – CTAFOR
Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

Luís Eduardo Ximenes Carvalho

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN
Universidade Federal do Ceará - UFC

RESUMO

A gestão do tráfego urbano requer um conhecimento contínuo e sistêmico dos deslocamentos urbanos, o que demanda um esforço periódico e custoso de coleta e tratamento de dados. Uma alternativa mais eficiente consiste em sistemas de Controle do Tráfego em Área (CTA), que também coletam, modelam e armazenam dados de tráfego. Contudo, estes sistemas normalmente não disponibilizam mecanismos eficazes de consulta a sua base de dados, tendo em vista sua ênfase na programação semafórica. Este trabalho apresenta uma interface lógica, denominada TRANSCOOT, entre a base de dados do CTA da cidade de Fortaleza (CTAFOR) e o SIG *TransCAD*. Esta interface combina uma arquitetura modular e um modelo espaço-temporal de *versões* para importar dados dinâmicos de tráfego para o ambiente SIG estático, de forma flexível e eficiente. No ambiente SIG, esta interface agrega caráter espacial aos dados importados, o que permite realizar análises espaciais sobre o tráfego urbano na área do CTAFOR.

ABSTRACT

The management of urban traffic requires a continuous and systemic knowledge of urban trips, what demands a periodic and expensive effort of data collection and treatment. An efficient alternative for urban traffic management consists of Urban Traffic Control (UTC) systems, which also collect, model and store data relating to traffic conditions. Usually, however, these systems do not offer effective mechanisms for consulting their databases, as they have an emphasis on signal programming. This work presents a logical interface, named TRANSCOOT, between the dynamic database of Fortaleza's UTC system (CTAFOR) and the TransCAD GIS. This interface combines an modular architecture and a spatial-temporal version model to import dynamic traffic data into the static GIS platform, in an efficient and flexible way. Within the GIS environment, this interface aggregates spatial attributes to the imported data, what makes it possible to implement spatial analyses of the urban traffic in the CTAFOR area.

1. INTRODUÇÃO

A gestão do tráfego urbano envolve desde o controle operacional da circulação viária, até o planejamento de intervenções no sistema viário, passando pela fiscalização e educação de trânsito. A efetividade deste conjunto de atividades, em especial o controle semafórico, requer um conhecimento contínuo e sistêmico do comportamento dos deslocamentos efetuados sobre a malha viária (Insignares e Terry, 1991). Isto demanda um esforço periódico de coleta e tratamento de dados específicos do sistema do tráfego urbano (ex. volumes de tráfego), o que despende consideráveis recursos financeiros e mão-de-obra especializada.

Especificamente quanto ao controle operacional do tráfego urbano, uma alternativa mais eficiente consiste em sistemas de Controle do Tráfego em Área (CTA). Normalmente, os sistemas CTA gerenciam o tráfego por meio de três sub-sistemas: um sub-sistema de circuito fechado de televisão (CFTV), que permite o monitoramento remoto do tráfego; um sub-sistema de painéis de mensagens variáveis (PMV), que viabiliza a comunicação com os usuários do sistema viário; e um sub-sistema de controle semafórico centralizado, que otimiza o controle de interseções semaforizadas, reduzindo atrasos e números de paradas. No caso do sub-sistema de controle semafórico operar em tempo real, o processo de otimização dos planos semafóricos é efetuado com base em dados do tráfego coletados continuamente em campo, por meio de laços detectores. Em geral, após a otimização semafórica, os dados são modelados e armazenados numa base de dados dinâmica, conforme Brydia *et al.* (1998). Entretanto, em geral, os CTA não dispõem de mecanismos eficazes de consulta a este tipo de base de dados, tendo em vista que são projetados com ênfase na programação semafórica.

Uma alternativa para otimizar a consulta, o processamento e o uso de bases de dados dinâmicas de sistemas CTA consiste em viabilizar uma interface entre o sistema responsável pela modelagem de dados do sistema CTA e um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Tendo em vista sua arquitetura dual (características espaciais e descritivas) de base de dados (Siegfried *et al.*, 1992), suas estruturas (ex. redes, rotas) são aptas à modelagem de sistemas de transportes. Além disso, com sua capacidade de gerenciar espacialmente os dados de transportes (Câmara, 1994), os SIG se apresentam como uma importante alternativa para subsidiar a tomada de decisão em sistemas de controle de tráfego urbano (Thill, 2000).

Neste contexto, este trabalho apresenta uma interface lógica, batizada de TRANSCOOT, desenvolvida para viabilizar a importação, a modelagem, o referenciamento espacial e a utilização de dados dinâmicos do sistema CTA da cidade de Fortaleza (CTAFOR), para a plataforma SIG do *software* TransCAD (Caliper, 1996). Esta interface permite o acesso flexível e eficiente, tanto na dimensão espacial como temporal, aos dados coletados pelo CTAFOR, bem como agrega caráter espacial a estes dados, o que viabiliza múltiplas análises espaciais e temporais do tráfego na área sob controle.

2. O BANCO DE DADOS DO SISTEMA CTAFOR

Em 2000, iniciou-se a primeira experiência em Fortaleza com *Intelligent Transportation System* (ITS), a partir da implantação do Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza (CTAFOR). Este sistema é composto por três sub-sistemas: um sub-sistema CFTV, um sub-sistema PMV e um sub-sistema de controle semafórico centralizado em tempo real. O primeiro permite o monitoramento remoto do tráfego em 30 das principais interseções viárias da cidade. O segundo viabiliza a comunicação com os usuários por meios de 20 painéis de mensagens variáveis posicionados nos principais corredores de tráfego da cidade. O terceiro otimiza a operação de 154 interseções semaforizadas, a partir de dados de tráfego coletados em campo, reduzindo atrasos e número de paradas de veículos (Loureiro *et al.*, 2002).

O sub-sistema de controle semafórico do CTAFOR usa o sistema operacional *Split Cycle Optimization Offset Time* – SCOOT para otimizar, em tempo real, planos semafóricos implementados nas interseções controladas. O SCOOT determina estes planos com base em dados de tráfego coletados em campo por laços detectores, e enviados à central de controle por meio de linhas telefônicas privadas. O modelo de otimização do SCOOT busca minimizar atrasos e paradas de uma programação semafórica, simulando os efeitos de alterações desta programação sobre o tráfego. Após o processo de otimização semafórica, estes dados são modelados pelo SCOOT e armazenados pelo *software Automatic SCOOT Traffic Information Database* (ASTRID), sub-sistema do SCOOT, gerando uma base de dados dinâmica com renovação contínua a cada 15 minutos, capaz de armazenar dados por no mínimo um ano (TRL, 2000).

O sistema ASTRID permite a consulta à base de dados modelada pelo SCOOT por meio de um *front end* padrão (ver Figura 1), no qual o usuário define os parâmetros temporais e espacial, o tipo de arquivo de dados, o formato de saída e as variáveis de tráfego desejadas.

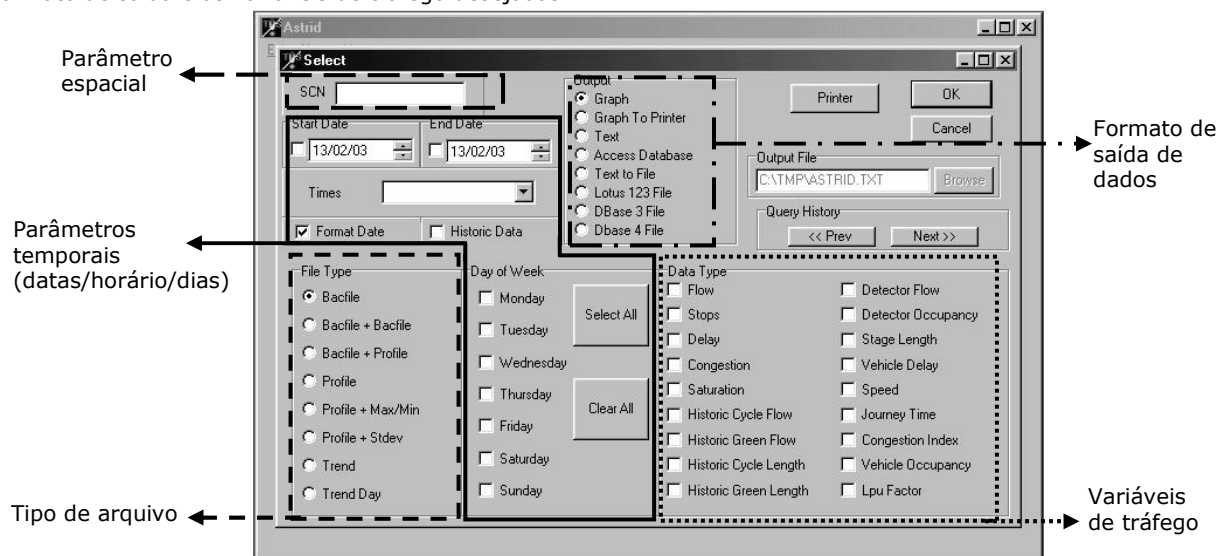


Figura 1: *Front end* do *software* ASTRID para a consulta à base de dados do sistema SCOOT

Os parâmetros temporais definem o período de dias, os dias da semana e o horário para uma consulta de dados. O parâmetro espacial define o tipo de elemento viário modelado pelo SCOOT que deve ser consultado, por meio de códigos denominados *SCOOT Control Number* (SCN). O SCOOT disponibiliza sete categorias de códigos SCN, em formato específico, são elas: semáforo, relativo a interseções semaforizadas; link, relativo a aproximações de interseções semaforizadas; detector, relativo a detectores de veículos em aproximações semaforizadas; estágio, relativo a comprimentos de estágio de interseções semaforizadas; rota, relativo a um conjunto de links; área, relativo a um conjunto de semáforos; e região, relativo a um conjunto de áreas (Peek, 2001).

O tipo de arquivo de saída permite que o usuário defina a categoria desejada dentre oito opções modeladas pelo SCOOT, são elas: *bacfile*, *bacfile + bacfile*, *bacfile + profile*, *profile*, *profile + max/min*, *profile + stdev*, *trend* e *trend day*. Tendo em vista a não documentação da modelagem usada na elaboração destes tipos de arquivos, a interface lógica apresentada neste trabalho usa apenas o tipo de arquivo mais elementar: *bacfile*. Este formato apresenta dados "básicos" modelados pelo SCOOT para períodos de 15 minutos, os quais são armazenados, num conjunto de registros relativos a um único SCN, em formato de saída específico, do tipo: gráfico, gráfico para impressão, texto, Access, Lotus 123 e DBASE 3 e 4 (Peek, 2001).

No que se refere às variáveis de tráfego, o ASTRID disponibiliza 15 variáveis distintas, as quais são modeladas em termos "médios", usando uma formulação proprietária do sistema SCOOT. Cabe destacar que a disponibilidade destas variáveis é condicionada ao tipo de SCN especificado pelo usuário. A seguir, a Tabela 1 apresenta a relação das referidas variáveis e suas respectivas disponibilidades por tipo de SCN modelado pelo SCOOT.

Embora o ASTRID disponibiliza uma vasta gama de dados e formato de saída, o *front end* do ASTRID (ver Figura 1) apresenta uma série de limitações para a consulta à base de dados do SCOOT (Meneses, 2003). Primeiro, os dados importados não dispõem de um atributo espacial, dificultando a realização de análises espaciais sistêmicas. Segundo, a modelagem usada para determinar as variáveis e tipos de arquivos não é documentada de forma clara, o que dificulta a análise de consistência das condições do tráfego descritas pelos dados fornecidos pelo ASTRID. Terceiro, o referido *front end* só permite a consulta a um único elemento viário (ex. *link*) por vez, embora seja possível consultar códigos SCN que agrupem vários elementos viários modelados pelo SCOOT (ex. SCN de rota – agrupa vários *links*). Esta restrição torna ineficiente a consulta simultânea a múltiplos elementos viários, tendo em vista que são necessárias consultas individuais e sucessivas para cada elemento. Isto resulta em um conjunto de arquivos individualizados por elemento viário ou código SCN consultado.

Tabela 1: Variáveis modeladas pelo SCOOT e disponibilizadas pelo ASTRID por SCN

Variável modelada pelo SCOOT	Categorias de elemento viário ou código SCN disponível
Fluxo veicular (veic/h)	Região, Área, Rota, Semáforo, <i>Link</i>
Paradas veiculares (veic/h)	Região, Área, Rota, Semáforo, <i>Link</i>
Atraso ((veic*h)/h) ou Fila (veic)	Região, Área, Rota, Semáforo, <i>Link</i>
Congestionamento (%)	Região, Área, Semáforo, <i>Link</i>
Grau de saturação (%)	Região, Área, Rota, Semáforo, <i>Link</i>
Hist. de fluxo durante o ciclo (lpu)	<i>Link</i> (logradouro)
Hist. de fluxo durante o estágio de verde (lpu)	<i>Link</i>
Hist. de comprimento de ciclo (s)	<i>Link</i>
Hist. de comprimento de estágio de verde (s)	<i>Link</i>
Fluxo detectado (veic/h)	Detector
Ocupação de detector (%)	Detector
Comprimento de estágio (s)	Região, Área, Semáforo, Estágio
Atraso veicular (s)	Região, Área, Rota, Semáforo, <i>Link</i>
Velocidade (km/h)	<i>Link</i>
Tempo de Jornada (s)	<i>Link</i>
Índice de congestionamento (adimensional)	<i>Link</i>
Ocupação veicular (ms/veic)	Detector
Fator <i>Link Profile Unit</i> (lpu/veic)	Detector

Além destas restrições, o *front end* do ASTRID permite consulta apenas a sete períodos horários pré-estabelecidos, muito embora seja possível uma consulta a qualquer intervalo horário, por meio de conexão remota com o SCOOT, via *Internet Protocol/Transference Control Protocol* (IP/TCP). Esta restrição torna inflexíveis os períodos horários de consulta e requer a consolidação prévia dos dados recuperados pelo ASTRID. Ademais, o *front end* do ASTRID não inibe as combinações inválidas de parâmetros de consulta, embora nem todas as variáveis estejam disponíveis para todo tipo de elemento viário, como demonstra a Tabela 1. Uma requisição com parâmetros inválidos retorna valores nulos, o que pode levar à conclusão equivocadas a respeito da consulta de dados requisitada.

3. A INTERFACE LÓGICA TRANSCOOT

De modo a sanar estas limitações operacionais do *front end* padrão do ASTRID, foi desenvolvido um *front end* (interface) alternativo entre a base de dados modelada pelo SCOOT e a plataforma SIG *TransCAD*, tendo como elemento de ligação o ASTRID. A seguir é feita uma descrição da arquitetura e do modelo espaço-temporal que orientam o funcionamento desta interface, denominada TRANSCOOT.

3.1. Modelo funcional do ASTRID

O modelo funcional do ASTRID obedece a uma estrutura cliente/servidor, onde o usuário (cliente) define parâmetros de consulta por meio de um *front end* (ver Figura 1), em um computador terminal. Em seguida, este *front end* compila os parâmetros especificados na forma de linhas de comando de extração de dados. A Figura 2 apresenta a estrutura de construção de linhas de comando para o ASTRID (Figura 2.a) e um exemplo de linha de comando (Figura 2.b).

```
EXTRACT+ " "+código do elemento viário+" "+código de tipo de arquivo de saída+" "+/DW:+códigos de dias da semana + " "+/D:variável 1+" "+ ... /D:variável V+" "+/TS:+hora inicial+":"+minuto inicial+ " "+/TE:+hora final+":"+minuto final+" "+/DS:+ano inicial+mês inicial+dia inicial+" "+/MS:+ano inicial+mês inicial + " "+/DE:+ano final+mês final+dia final+" "+ /OA:+nome do arquivo temporário
```

(a) Estrutura de construção genérica de linhas de extração de dados para o *software* ASTRID

```
EXTRACT 00028:e BAC /DW:MO /D:FLOW /D:VDEL /TS:7:00 /TE:8:00 /DS:20030301 /MS:200303 /DE:20030331 /O:SCN00028_EBAC.TMP
```

(b) Exemplo de linha de extração de dados para o *software* ASTRID

Figura 2: Linhas de comando de extração de dados para o *software* ASTRID

Conforme Figura 2.a, as linhas de comando consistem na concatenação (caractere "+") de diversos códigos específicos (*strings*), em formato texto, espaçados pelo caractere em branco (" "). Estes códigos representam as especificações de parâmetros temporais e espaciais, do tipo de arquivo de dados, do formato de saída e das variáveis de tráfego definidos pelo usuário. A ordem de concatenação destes códigos deve obedecer ao exposto na Figura 2.a, sob pena de não importação dos dados requisitados. Os referidos *strings* podem ser de dois tipos: constantes (letras maiúsculas) e variáveis (letras minúsculas). O primeiro tipo não varia com as especificações do usuário, enquanto o segundo se adapta aos parâmetros definidos pelo usuário. Embora não haja documentação clara que descreva os códigos dos *strings* variáveis e constantes, a definição destes códigos pode ser identificada por meio de requisições de dados ao ASTRID, em formato texto. Isto é possível porque este formato sempre inicia o arquivo requisitado com a linha de comando que lhe deu origem, seguida dos dados requisitados, como mostra a Figura 3.

Por sua vez, a Figura 2.b apresenta um exemplo de linha de comando que representa a extração (*EXTRACT*) de um arquivo tipo *bacfile* (*BAC*) que contém valores de fluxo (*/D:FLOW*) e atraso (*/D:VDEL*) veiculares, para o objeto viário de código SCN igual a 00028:e (tipo *link* – aproximação "28 e"). Estes valores foram modelados pelo sistema SCOOT para a segunda-feira (*/DW:MO*), durante o período horário de 7:00 (*/TS:7:00*) às 8:00h (*/TE:8:00*), do mês de março de ano de 2003 (*/DS:20030301 /MS:200303 /DE:20030331*). O resultado desta extração de dados é armazenado no arquivo denominado *SCN00028_EBAC.TMP*.

Após a construção da linha de comando, segundo o padrão estabelecido na Figura 2.a, o *front end* padrão envia esta linha de comando para o *software* ASTRID, num computador servidor, via conexão IP/TCP. Então, este *software* efetua a extração de dados junto à base de dados modelada pelo SCOOT, retornando os dados requisitados no formato especificado pelo usuário. Assim, por exemplo, a linha de comando apresentada na Figura 2.b pode retornar dados em formato de arquivo texto, conforme ilustra a Figura 3.

O formato de arquivo texto é padronizado, com as primeiras linhas apresentando a linha de comando usada na extração de dados e o cabeçalho com os atributos requisitados. A ordem dos atributos é sempre a seguinte: código SCN, dia da semana, data, hora inicial, hora final e pares de atributos para cada variável de tráfego requisitada. Em cada par de atributos de uma dada variável, a primeira coluna representa o valor médio da variável para um dado período de tempo, conforme modelado pelo SCOOT. Já a segunda coluna indica o número de registros usados para determinar o referido valor médio. Cabe destacar que a interface lógica desenvolvida para importar dados do SCOOT usa o formato de arquivo texto da Figura 3.

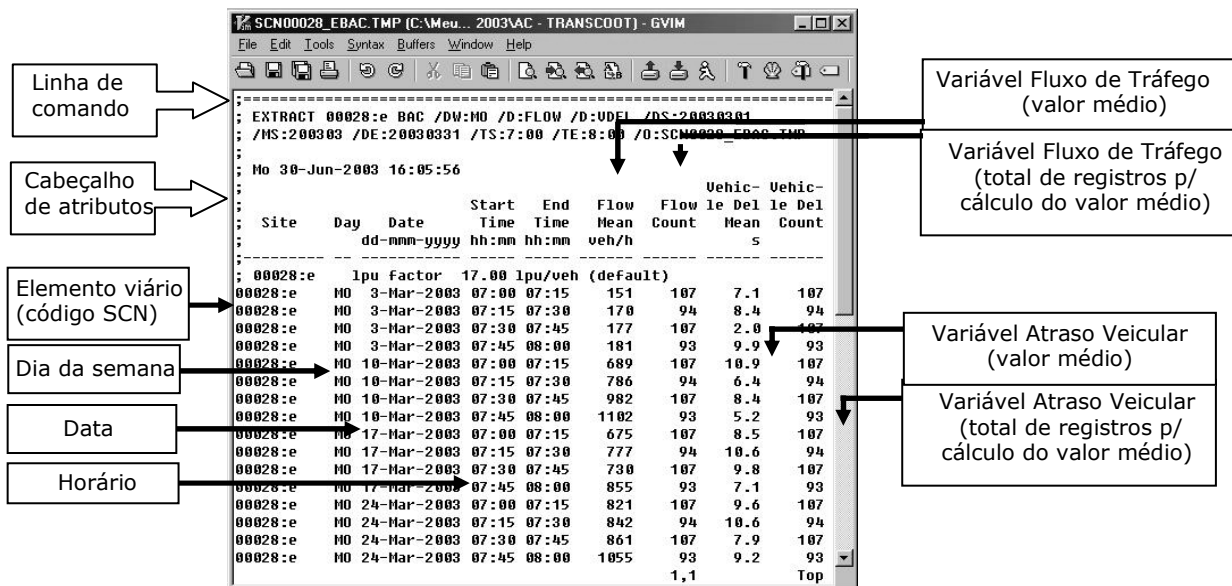
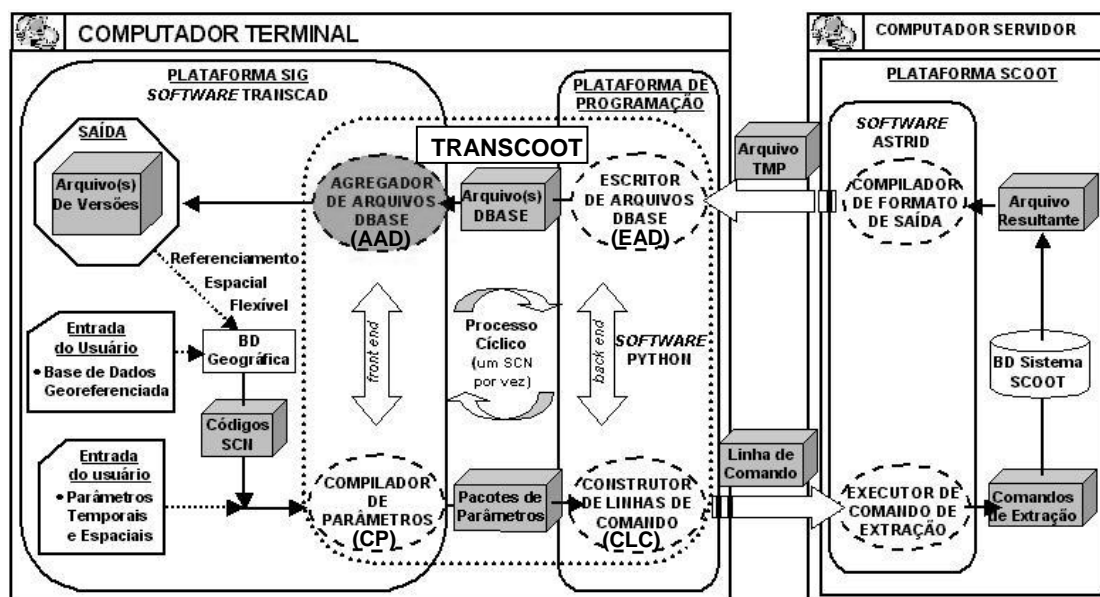


Figura 3: Arquivo texto resultado da extração dados da base do SCOOT via ASTRID

3.2. Arquitetura e modelagem funcional do TRANSCOOT

A interface lógica TRANSCOOT usa uma estrutura cliente/servidor para efetuar a ligação entre a base de dados do sistema SCOOT e o usuário, tendo como plataforma de interação o software de SIG TransCAD. O acesso a esta base de dados também é feito por meio do software ASTRID. Contudo, o TRANSCOOT substituiu o atual front end padrão do ASTRID (ver Figura 1) por uma nova interface, em ambiente SIG. Assim, esta interface usa a capacidade de manipulação espacial do SIG para proporcionar maior eficiência à consulta de dados, bem como à execução de análises espaciais. A seguir, a Figura 4 apresenta a arquitetura funcional do TRANSCOOT.



Conforme indicado na Figura 4, a interface lógica TRANSCOOT é composta por quatro módulos de processamento, denominados: Compilador de Parâmetros (CP), Construtor de Linhas de Comando (CLC),

Escritor de Arquivos DBASE (EAD) e Agregador de Arquivos DBASE (AAD). O primeiro e quarto módulos são *front end* executados na plataforma TransCAD, a qual tem a função de tornar mais eficiente a consulta de dados ao SCOOT. Estes dois módulos foram desenvolvidos com o uso da linguagem de programação Macro *Caliper Script* do TransCAD. Já o segundo e terceiro módulos (*back end*) funcionam em um script feito na linguagem de programação Python (Van Rossum e Drake, 2003). O Python é responsável pela importação efetiva de dados do SCOOT via conexão remota IP/TCP.

O módulo CP efetua a leitura das especificações de consulta ao SCOOT, as quais são agrupadas em quatro "pacotes de parâmetros". O primeiro pacote abrange os códigos SCN usados para representar os elementos viários modelados pelo SCOOT. Estes códigos são obtidos a partir da base de dados geográfica, construída pelo usuário em ambiente SIG, para representar um ou mais tipos de elementos viários. Portanto, a modelagem espacial dos códigos SCN é flexível às necessidades do usuário, mas restrita às opções de representação espacial disponíveis no TransCAD (ponto, linha, área, rota). Por sua vez, o segundo pacote diz respeito aos parâmetros temporais de consulta de dados, incluindo as datas, dias da semana e horários desejados. Diferente do *front end* padrão do ASTRID, que restringe a consulta a um determinado horário, para no máximo um mês, no caso de arquivos tipo *bacfile*, a interface lógica permite consultar *bacfile* até doze meses e dez períodos horários distintos, simultaneamente. Já o terceiro pacote, abrange as variáveis de tráfego que devem ser consultadas, obedecendo à disponibilidade das variáveis por tipo de SCN, apresentada na Tabela 1. Estes três pacotes são enviados para o módulo CLC, de modo que este possa providenciar a extração de dados do sistema SCOOT.

Por fim, o quarto pacote define o modo de agregação estatístico e temporal dos dados extraídos do SCOOT. Na dimensão estatística, o usuário pode escolher entre as opções: soma, mínimo, máximo, média e desvio padrão. Já na dimensão temporal, é definido o escopo de agregação temporal em que as estatísticas devem ser calculadas, tanto no nível horário (15, 30 ou 60 minutos, horário total), como no nível de dias (diária, semanal, mensal, semestral, anual, total). Este último pacote de parâmetros é enviado ao módulo AAD que é responsável pela agregação estatístico-temporal e consolidação de dados dinâmicos de tráfego no ambiente estático dos SIG.

Após o envio das especificações de consulta de dados, o módulo CLC compila os parâmetros enviados pelo módulo CP, e gera um conjunto de comandos de extração de dados para cada código SCN, conforme o modelo padrão apresentado na Figura 2.a. Em seguida, o módulo CLC envia uma linha de comando por vez para o módulo "Executor de Comandos de Extração" do ASTRID, localizado no computador servidor, via conexão remota. Então o ASTRID extrai os dados requeridos e retorna um arquivo temporário (*.TMP), em formato texto, via FTP. De posse do arquivo TMP, o módulo EAD converte cada arquivo texto enviado pelo servidor para um arquivo em formato DBASE, com os mesmos atributos do arquivo TMP inicial. Esta conversão é necessária tendo em vista a compatibilidade do formato DBASE com o TransCAD, bem como sua maior rapidez de leitura de dados quando comparado ao formato texto.

Finalizada a conversão dos arquivos TMP, o módulo AAD efetua a agregação estatístico-temporal dos dados importados do sistema SCOOT, tendo como base os parâmetros definidos pelo usuário. Assim, cada arquivo DBASE é submetido a um processo de agregação que tem como base o modelo espaço-temporal de *versões* proposto por Zhao *et al.* (1997). Este modelo usa estruturas de base de dados relacional (tabelas, registros e/ou atributos) para incorporar a dimensão temporal ao SIG, tendo em vista que estes sistemas são limitados à modelagem estática da realidade (Langran, 1993; Koncz e Adams, 2002). O modelo de *versões* busca representar modificações dinâmicas da realidade por meio da combinação de estruturas de tabelas, de registros e de atributos, visando o equilíbrio entre o espaço computacional ocupado e a complexidade do processo de recuperação e manipulação de dados dinâmicos.

No caso específico do modelo de *versões* usado pelo módulo AAD é feita uma combinação entre as estruturas de tabelas e de atributos para permitir a consolidação de dados dinâmicos do sistema SCOOT no ambiente estático do TransCAD. Desta forma, o referido modelo prevê a criação de um conjunto de tabelas, no qual cada tabela representa uma versão agregada da realidade modelada pelo SCOOT em um dado escopo estatístico-temporal. O número de tabelas é definido pelo produto entre o número de estatísticas, o número de períodos horários e o resultado da combinação entre o período de dias consultado e seu respectivo nível de agregação temporal. Cada arquivo possui uma estrutura com codificação padronizada, cuja quantidade de atributos é definida pelo produto entre o número de dias da semana, o número de variáveis e o resultado da combinação entre o período horário consultado e seu respectivo nível de agregação temporal.

Por exemplo, suponha uma requisição de dados de fluxo de tráfego para todos os SCN de links do CTAFOR, em todos os dias da semana, nos horários de 7:00 às 8:00 h e de 12:00 às 13:00 h, durante todo o mês de abril de 2003. Para esta consulta, a especificação das estatísticas média e desvio padrão, no nível de dias igual à opção "semanal", resulta em 16 arquivos de versões distintos (2 estatísticas x 2 períodos horários x 1 mês x 4 níveis de agregação de dias). Tomando como exemplo o arquivo de versão relativo ao período de 7:00 às 8:00 h, a quantidade de atributos gerados para o nível horário de agregação de 30 minutos é igual a 14 (1 variável x 7 dias da semana x 1 períodos horários x 2 níveis de agregação horária). Cabe destacar que o modelo de versões implementado no TRANSCOOT está preparado para inibir requisições de dados que ultrapassem os limites físicos do formato DBASE, ou que gerem um volume de tabelas ou uma estrutura de atributos excessivamente extensa (ex. 30 tabelas com 50 atributos cada uma).

Finalizada a agregação estatístico-temporal dos arquivos DBASE enviados pelo módulo EAD, o módulo AAD retorna um conjunto de arquivos de *versões* para o TransCAD, de acordo com as especificações de consulta e os níveis de agregação temporal definidas pelo usuário. Cada arquivo possui um atributo que armazena o código SCN ao qual os demais atributos se referem. A partir do código SCN, o usuário pode executar o georeferenciamento dos atributos de cada tabela de versão, o que permite realizar análises espaciais sobre o tráfego na área do CTAFOR.

3.3. Exemplo de aplicação

De modo a ilustrar o funcionamento da interface lógica TRANSCOOT, é apresentado um exemplo de aplicação desta interface para auxiliar na análise da variação espaço-temporal do fluxo de tráfego nas aproximações semaforizadas (*links*) sob controle do CTAFOR, no pico da manhã (6:45 às 7:45 h) de uma segunda-feira típica, entre os meses de julho e agosto de 2002. Inicialmente, o usuário deve construir uma base de dados geográfica para representar os *links* da malha. Nesta aplicação, os *links* são representados pelo objeto geográfico linha, por meio do *software* TransCAD, conforme ilustra a Figura 5. Cabe destacar que esta base geográfica deve ter um atributo para armazenar os códigos SCN de cada *link*, no caso o campo SCN_LINK.

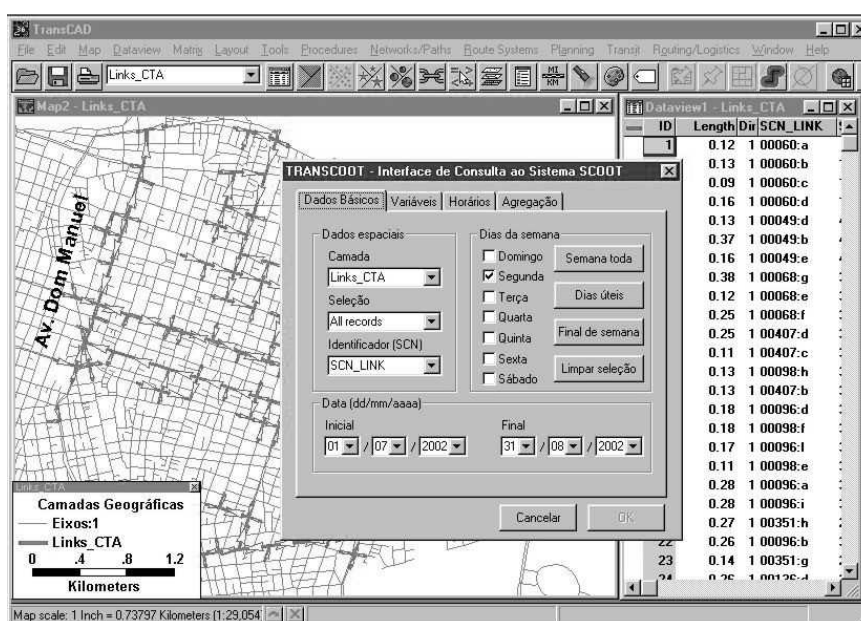


Figura 5: Base geográfica dos *links* do CTAFOR e guia "Dados básicos" do TRANSCOOT

Em seguida, o usuário utiliza o TRANSCOOT para importar dados de fluxo de tráfego modelados pelo sistema SCOOT, para o SIG TransCAD. Para tanto, esta interface disponibiliza uma estrutura *multiguias* (4 guias) para a definição de parâmetros de consulta. Na primeira guia, denominada "Dados básicos", por meio do *frame* "Dados espaciais", devem ser definidas a camada geográfica, a seleção de *links* e o atributo com os códigos SCN dos links em questão. Feito isso, o usuário especifica os dias da semana e o período de dias desejados, por meio dos *frames* "Data (dd/mm/aaaa)" e "Dias da semana". A Figura 5 apresenta a guia "Dados básicos" com a especificação dos parâmetros desta aplicação. Por sua vez, nas guias "Variáveis" e "Horários", o usuário especifica as variáveis e os períodos horários que deseja consultar. A escolha das variáveis pode ser feita por meio de botões auxiliares ou individualmente. No caso dos horários, a definição pode ser manual ou automática, a partir da leitura de um arquivo texto fornecido pelo usuário. A Figura 6 apresenta a visualização das demais guias interativas do TRANSCOOT, incluindo as guias "Variáveis" e "Horários", com a especificação dos parâmetros da aplicação em questão.

Por meio da última guia, denominada "Agregação", o usuário especifica as estatísticas que devem ser calculadas e os níveis de agregação temporal (nível de dias e nível horário). Os níveis de agregação temporal são condicionados ao período de dias e aos horários especificados nas guias anteriores. Desta forma, o TRANSCOOT inibe agregações temporais inviáveis dos dados importados do sistema SCOOT. Por exemplo, a agregação semestral de dados coletados para o período de um mês. Além da especificação destes parâmetros, a guia "Agregação" permite definir as pastas para a armazenagem dos arquivos de *versões* gerados, bem como possibilita a especificação das datas que devem ser desconsideradas no processo de agregação temporal. Estas datas são previamente definidas pela interface lógica com base nos feriados oficiais do ano em exercício.

A seguir, a Figura 6 apresenta a guia "Agregação" com a especificação dos parâmetros de consulta de dados necessários à aplicação em estudo, ou seja, estatística média e níveis de agregação de dias e horário iguais a mensal e 60 minutos, respectivamente.



Após a definição de todos os parâmetros de consulta ao sistema SCOOT, o acionamento do botão "ok" testa a viabilidade da consulta requisitada, em termos de ausência e concordância de parâmetros. Sendo viável a consulta especificada, a interface TRANSCOOT inicia o processo de importação de dados com o auxílio do *script* elaborado por meio da linguagem *Python*. Finalizada a importação e conversão de dados para o formato DBASE, executa-se a agregação temporal especificada pelo usuário, segundo o modelo espaço-temporal de *versões* desenvolvido neste trabalho. Em ambos os processos (importação e agregação), o usuário acompanha a execução das atividades da interface lógica por meio de barras de progresso.

Para a aplicação em questão, foram gerados dois arquivos de versões (1 estatística x 1 período horário x 1 nível de agregação horário de 60 minutos x 2 meses x 1 nível agregação de dias igual a mensal). Cada arquivo possui dois atributos (1 variável x 1 dia da semana x 1 períodos horários x 1 nível de agregação horária), denominados SCN, relativo aos códigos SCN dos *links* sob controle do CTAFOR, e SG_FLX_P1A, relativo ao fluxo médio de tráfego (FLX) no horário de 6:45 às 7:45 h (P1A), numa segunda-feira típica (SG) de um dado mês. A seguir, a Figura 7 apresenta os referidos arquivos de *versões* e a representação espacial destes dados de fluxo médio de tráfego num mapa temático de carregamento da malha viária sob controle do CTAFOR.

A análise dos mapas de carregamento da Figura 7 permite evidenciar que a segunda-feira típica do mês de julho de 2002 apresenta uma redução significativa no fluxo de tráfego nos principais corredores arteriais sob controle do CTAFOR, comparativamente ao mês de agosto de 2002. Isto indica que as atividades escolares desempenham papel de destaque no aumento do fluxo de tráfego no horário, dia e meses estudados. Associados a dados de localização de estabelecimentos de ensino, os resultados desta análise permitem identificar pontos críticos de fluidez de tráfego, o que possibilita otimizar o planejamento de estratégias especiais de operação de tráfego que minimizem os impactos negativos (atraso e paradas) decorrentes.

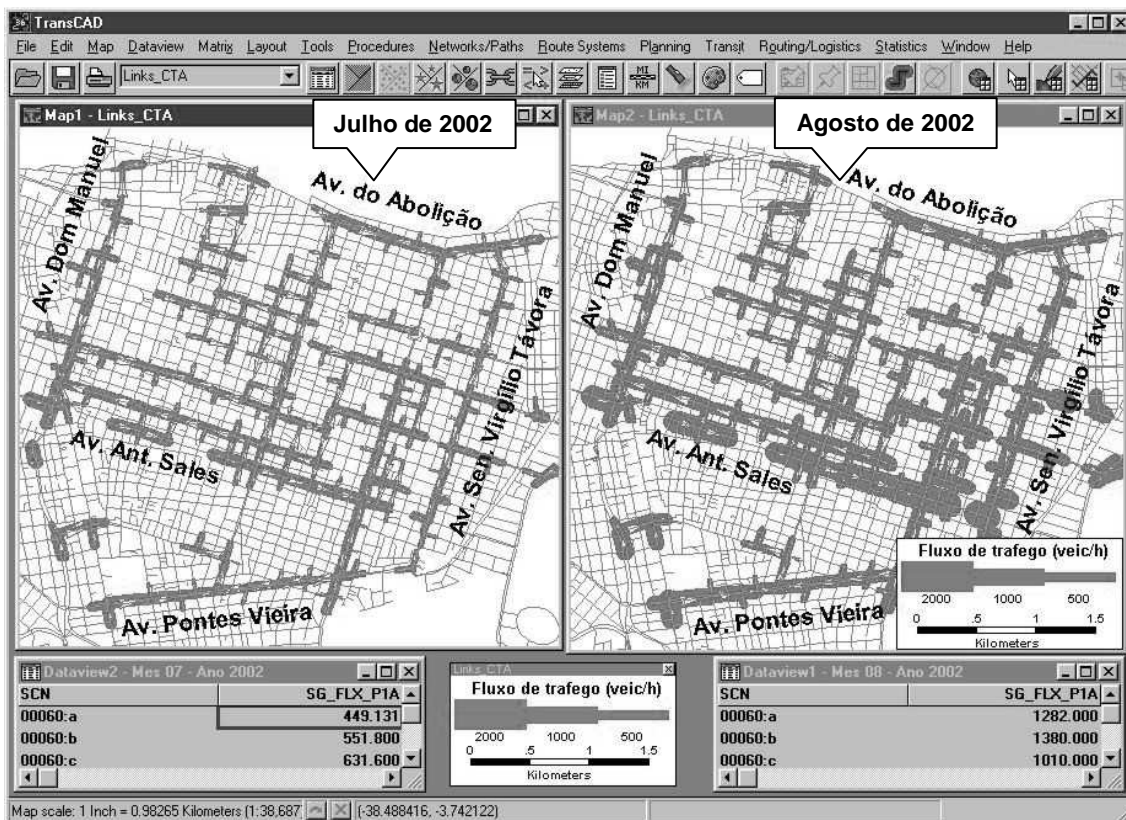


Figura 7: Arquivos de versões e mapas de fluxo médio de tráfego no pico da manhã de uma segunda-feira típica dos meses de junho e julho de 2002 na área sob controle do CTAFOR

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes do desenvolvimento da interface lógica apresentada neste trabalho, a base de dados modelada pelo sistema SCOOT do CTAFOR tinha aplicações pontuais, devido às limitações da interface padrão do ASTRID. De um modo geral, os técnicos usavam esta interface apenas para subsidiar a tomada de decisão operacional. A partir da implementação do TRANSCOOT, os técnicos puderam importar e modelar dados do SCOOT para o SIG, de forma flexível e amigável, gerando arquivos de versões que podem atender a múltiplas aplicações. Por exemplo, esta interface já subsidiou análises como: atualização de matriz O/D a partir de fluxos de tráfego; análise de desempenho de estratégias de controle semafórico (tempo fixo x real) em corredores arteriais; avaliação espacializada dos benefícios operacionais do CTAFOR, dentre outras.

Embora o TRANSCOOT caracterize-se pela flexibilidade e eficiência, esta interface apresenta algumas limitações de ordem funcional e de modelagem. No aspecto funcional, esta interface acessa de forma indireta a base de dados do sistema SCOOT, podendo apresentar falhas de comunicação em horários de pico de processamento de dados. No âmbito da modelagem, a interface lógica carece de modelos estatísticos mais sofisticados. Para suprimir estas duas deficiências estão sendo desenvolvidos dois projetos específicos: arquitetura híbrida (SQL+SIG) de acesso e gerenciamento de bases de dados do sistema SCOOT, e módulos de avaliação de qualidade, tratamento e mineração de dados dinâmicos de tráfego urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brydia, R. E.; S. M. Turner; W. L. Eisele e J. C. Liu (1998) Development of an ITS Data Management System. *Transportation Research Board, The 77 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.*
- Caliper (1996) *TransCAD - User's Guide, V. 3.1 for Windows*. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts, USA.
- Câmara, G. (1994) Anatomia do SIG. *Fator GIS - A Revista do Geoprocessamento*. Janeiro/Fev/Mar, Nº 4, p. 11-15.

- Insignares, M. S. and Terry, D.C. (1991) Geographic Information Systems in Traffic Control. *Institute of Transportation Engineering – Annual Meeting*, USA.
- Koncz, N. e T. M. Adams (2002) Temporal Data Constructs for Multidimensional Transportation GIS Applications. *Transportation Research Board*, The 81 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- Langran, G. (1993) *Time in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, Washington, D.C., USA.
- Loureiro, C. F. G.; C. H. P. Leandro e M. V. T. de Oliveira (2002) Sistema Centralizado de Controle do Tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, RN, Comunicações Técnicas, p. 19-26.
- Meneses, H. B. (2003) *Interface lógica em ambiente SIG para bases de dados de sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Peek (2001) Operator Manual – ASTRID. Peek Traffic LTD, Volume D, England.
- Siegfried, R. H., Vaidya, N., Avila, S. J., McCasland P. E. W. and Levine P. E. (1992) Incident Management Using GIS. *Institute of Transportation Engineering – Compendium of Technical Papers*, p. 433-436.
- Thill, J. (2000) Geographic Information Systems for Transportation in Perspective. *Transportation Research Board*, 79th Annual Meetin, Washington, D.C., USA.
- Van Rossum, G. e Drake, F. L., Jr. (2003) *Python Reference Manual*. Versão 2.2.3. Python Labs.
- TRL (2000) *SCOOT 0414 – Executive Summary – Description of SCOOT*. SCOOT Traffic Handbook, Transportation Research Laboratory, England.
- Zhao, F.; L. Wang; H. Elbadrawi e L. D. Shen (1997) Temporal Geographic Information System and Its Application to Transportation. *Transportation Research Board*, The 76 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA.

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes
Campus do Pici – Centro de Tecnologia – Bloco 703
60.455-760 - Fortaleza – CE

Fone/Fax: (0xx85) 288-9571/9488
E-mail: hamifrancey@zipmail.com
felipe@det.ufc.br