

## **MODELO DE GERAÇÃO DE VIAGENS COM APLICAÇÃO DO SENSOREAMENTO REMOTO E DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

**Pastor W. Gonzales Taco  
Yaeko Yamashita  
Newton Moreira de Souza  
André Soares Dantas**

Mestrado em Transportes Urbanos  
Universidade de Brasília

### **RESUMO**

Utilizando os avanços tecnológicos do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica, é possível através da foto-interpretção processar a setorização da estrutura urbana, identificando sistematicamente setores com características semelhantes e definindo padrões geométricos/fotográficos, resultando numa melhor compreensão e tratamento das variáveis que influenciam nas viagens geradas. Assim, baseados nessas tecnologias, desenvolveu-se uma metodologia para a análise e classificação dos dados contidos na imagem, constituídos por Classes Foto-interpretadas Homogêneas (CFI). Posteriormente, formulou-se o Modelo de Geração de Viagens através do relacionamento das áreas das CFIs com os dados sócio-econômicos da população agregados por Setores Censitários, obtendo-se fatores de viagens geradas por CFI. A viabilidade do modelo foi verificada para a cidade de Sobradinho (Brasília/DF), onde esses fatores demonstraram uma relação com o tipo de padrão do uso do solo. Os fatores de geração de viagens de maior valor correspondem aos setores do tipo residencial de prédios, entretanto padrões de ocupação mistos, apresentaram valores inferiores aos das CFI do tipo residencial.

### **ABSTRACT**

Using the advanced technology of the Remote Sensing (RS) and the Geographical Information System (GIS) it is possible through the photo - interpretation, to process the sectorization of the urban framework, indentifying systematically sectors with similar characteristics and defining geometric and photographic standards, resulting in a better understanding and treatment of the variables that influence the trips generation. This way, based on these technologies, a methodology to analyse and classify the dates from images that constitute homogeneous photo-interpreted classes (CFI) was developed. Later, a trip generation model was formulated, through the relationship of CFIs and socio-economic data of population aggregated by censitary sectors, obtaining trip generation factors for CFI. The model was tested in the city of Sobradinho (Brasilia-DF), where the factors showed a relationship with the type of land use. A highest value is observed in residencial pattern of land use, however mixed occupation types presented lowest value in relation to the CFI of residencial pattern.

### **1. INTRODUÇÃO**

O processo de planejamento de transporte exige a obtenção de um grande número de informações não só relativas ao próprio sistema, como também dos dados sócio-econômicos da população, sendo fundamental na análise da demanda para se determinar as características e os padrões das viagens (tipo, local de origem e destino, etc). Com isso, as metodologias

freqüentemente empregadas para se estimar a demanda de viagens necessitam de extensas coletas de dados referentes a viagens individuais, domiciliares e dos centros de emprego. Esses dados coletados através de pesquisas domiciliares de origem-destino, na maioria das vezes consomem tempo e exigem o uso de expressivos recursos humanos e financeiros, tornando o processo às vezes inviável para a maioria das cidades, principalmente as de pequeno e médio porte.

Além disso as variáveis que afetam consideravelmente a geração de viagens são nos países em desenvolvimento extremamente dinâmicas. Conseqüentemente o relacionamento existente entre o sistema de transporte e as atividades urbanas, faz com que seja necessária a obtenção das informações dos aspectos condicionantes das viagens, e que possibilitem analisar e formular seu comportamento futuro.

Assim, é apresentado o Modelo de Geração de Viagens baseado em padrões de uso e ocupação do solo, obtidos através do Sensoriamento Remoto (SR) e dos Sistemas Informação Geográfica (SIG), procurando rapidez e eficácia na obtenção das informações para o planejamento dos transportes.

Este artigo está estruturado em cinco seções. Na primeira são discutidas os Modelos de Geração de Viagens tradicionais. Os conceitos de SR e SIG são abordados na segunda seção. Já na terceira é apresentada a formulação do modelo desenvolvido. O estudo de caso na cidade de Sobradinho (Brasília - Distrito Federal) e a viabilidade do modelo são descritos na quarta seção. Finalmente, as conclusões são apresentadas na quinta seção.

## **2. AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS**

A evolução dos modelos de geração de viagens demonstram um nível de análise tipicamente estático, já que não apresentam recursos que possibilitem captar com rapidez as mudanças urbanas relativas aos usos do solo. Também, a grande quantidade de dados necessários para realizar a modelagem, impossibilita a atualização dos mesmos de uma forma rápida e contínua pelo seu alto custo operacional. Essas restrições tornam complexa a modelagem e evidentemente o tratamento dos problemas na área dos transportes. Surge assim, a necessidade de se contar com ferramentas que possibilitem o tratamento de grande quantidade de dados, de forma rápida, precisa e que também permitam fundamentalmente intervir no processo da modelagem de forma interativa e dinâmica.

Algumas tentativas neste sentido já podem ser observadas. Silva *et al.* (1995) desenvolveram um modelo simplificado que auxilia na geração de taxas de viagens, fazendo uso do SIG. Apesar do esforço realizado por obter dados adicionais, nota-se ainda uma forte dependência da carência de dados, sendo pouco exploradas as características funcionais do SIG juntamente com outras tecnologias.

## **3. OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NOS TRANSPORTES (SIG-T) E O SENSOREAMENTO REMOTO (SR)**

Os Sistemas de Informação Geográfica podem ser definidos como um tipo de Sistema de Informação que envolve de forma sistêmica e interativa banco de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais (Dantas *et al.*, 1996). Essas análises são definidas por Goodchild (1988) *apud* (Gatrell, 1991) como o conjunto de métodos analíticos que requer acesso tanto aos atributos (propriedades) dos objetos de estudo e suas

informações de localização (georeferenciamento). Especificamente no que se refere ao tratamento de dados gráficos (fotografias aéreas e imagens satélite) obtidos do Sensoriamento Remoto, as Análises Espaciais desempenham papel fundamental. Permitem obter informações essenciais no tratamento de problemas de transporte, não se restringindo apenas a ser uma ferramenta de visualização e armazenagem de dados, mas um instrumento direto de planejamento.

O potencial a ser explorado com o uso do SIG e SR em estudos de transportes já tem apresentado resultados consideráveis. Recentemente Bartoli *et al.* (1996), Taco *et al.* (1996) e Yamashita *et al.* (1997), obtêm informações essenciais para avaliar a acessibilidade locacional de paradas de ônibus; zoneamento de tráfego da área urbana através da definição de Setores Agregados para analisar as variáveis intervenientes nas viagens atraídas e produzidas; e definição das rotas por modo bicicleta, respectivamente.

#### **4. MODELAGEM DA GERAÇÃO DE VIAGENS COM APLICAÇÃO DO SIG E SR**

O Modelo procura relacionar padrões de uso do solo com a geração de viagens de uma determinada área. Ou seja pretende-se determinar qual a taxa de viagens geradas em função da área ocupada por cada tipo de construção urbana. Torna-se necessário identificar e caracterizar os diferentes padrões de uso do solo para posteriormente correlacioná-los matematicamente com as viagens. O processo de modelagem é dividido em cinco etapas que são: identificação e caracterização das Classes Foto-interpretadas (CFI) e Setores Agregados Homogêneos (SAH); definição das variáveis envolvidas; estruturação e formulação teórico-matemática; e cálculo matemático dos fatores de viagens geradas por área.

No processo da modelagem é necessário criar *layers* (camadas) de dados no *software* de SIG, para relacionar a demanda por transporte em função do nível, tipo e localização das atividades sócio-econômicas dentro de um contexto urbano. Neste modelo assumem-se que os mapas *layers* dos usos do solo, dos setores censitários (SC), das zonas de tráfego (ZT), e das classes foto-interpretadas (CFI), são criados em um SIG. A respeito do uso do solo dever-se-á definir a existência, distribuição e padrão de seu uso. Nos setores censitários e nas zonas de tráfego dados demográficos e sócio-econômicos devem ser agregados, junto aos limites e a localização de seus centróides. Para as CFI é importante a localização dos centróides e suas áreas, dentro dos SC e das ZT.

##### **4.1. Definição das Classes Foto-interpretadas e Setores Agregados Homogêneos**

O objetivo principal, nesta fase da modelagem, é a identificação e caracterização dos padrões de uso e ocupação do solo, assim como a verificação de como eles interagem no espaço urbano. Nesse sentido utiliza-se as fotografias aéreas para a definição de classes e setores, que serão a base da modelagem.

###### *4.1.1. Definição das Classes Foto-Interpretadas Homogêneas (CFI)*

Baseando-se na formulação teórica desenvolvida pelo *U. S. Geological Survey* (Abery e Berlin, 1990) e as verificações práticas de Taco *et al.* (1996) são estabelecidos dois níveis de análise para obtenção das CFI. No primeiro, mais geral, procura-se delimitar os macro-setores agregados homogêneos, buscando uma compreensão geral da área e visando a separação das áreas residenciais daquelas construídas para outros fins. Esses macro-setores deverão ser definidos procurando caracterizar os diferentes segmentos da área urbana em termos da sua posição na estrutura local. Isso ocorre examinando a agregação dos objetos

individuais de interesse e definindo a composição de cada setor. O exame de localização de cada objeto (habitação) ou composição de objetos (setor habitacional) com relação ao seu entorno também é realizado.

Já no segundo nível mais individual e agindo sobre os macro-setores identificados na análise anterior, define-se as CFI em função de parâmetros tais como tamanho do lote; ocupação do lote (recuos laterais, frontais e de fundo); presença e tratamento de jardins e quintais; uso do solo, seja residencial único ou misto; densidade construtiva; presença e proporção de áreas verdes; tipologias da construção (térreas, geminadas, isoladas, de pavimentos, meia água, barracos, etc.); ocupação espontânea ou planejada; regular ou irregular; idade do Setor, e topografia.

A avaliação da área urbana a nível geral e individual em função destes parâmetros permite estabelecer os tipos de padrões que diferenciam uma classe da outra e que, agrupados de acordo com os atributos comuns de cada CFI, permitirão determinar os Setores Agregados Homogêneos, conforme desenvolvido por Taco (1997).

## 4.2. Definição das Variáveis Envolvidas

O processo de estruturação do modelo varia de acordo com a referência dos dados das viagens, que podem ser obtidos por setor censitário, zona de tráfego ou qualquer outro tipo de divisão específica. Tornando-se necessário efetuar a definição das variáveis envolvidas na modelagem em níveis agregados (ZT) ou desagregados (SC e CFI), como é especificado a seguir:

### 4.2.1. Setores Censitários

A unidade básica de desagregação correspondente ao setor censitário é caracterizada, assim como as variáveis censitárias correspondentes pelas seguintes nomenclaturas:

- $sc\_id$  = identificador do setor censitário
- $sc\_area$  = área do setor censitário ( $m^2$ )
- $SC_i$  = setor censitário  $i$ . Sendo  $\forall i \in \{ 1 \dots m \}$ ,  $m$  o número total de SC
- $SC_i^{ZT_a}$  = setor censitário  $i$  na zona de tráfego  $a$ . Sendo  $\forall a \in \{ 1 \dots p \}$ ,  $p$  n<sup>o</sup> total de ZT
- $V^{SC_i}$  = viagens geradas no setor censitário  $i$
- $V^{SC}$  = total viagens geradas nos setores censitários
- $V^{SC} = \sum_{i=1}^m V^{SC_i}$  (1)

### 4.2.2. Zonas de Tráfego

O agrupamento dos setores censitários constituirão uma zona de tráfego. Assim, cada zona de tráfego será caracterizada de forma similar aos setores censitários:

- $z\_id$  = identificador da zona de tráfego
- $z\_area$  = área da zona de tráfego ( $m^2$ )
- $ZT_a$  = zona de tráfego  $a$ . Sendo  $\forall a \in \{ 1 \dots p \}$
- $V^{ZT_a}$  = viagens geradas na zona de tráfego  $a$
- $V^{ZT_a} = \sum_{i=1} V^{SC_i}$  .  $\forall i \in ZT_a$  (2)
- $V^{ZT}$  = total viagens geradas nas zonas de tráfego



$$V^{SCm} = w_m^{SCm} + f_k^V A_{f_k}^{SCm} + f_{k+1}^V A_{f_{k+1}}^{SCm} + \dots + f_n^V A_{f_n}^{SCm} + U_m^{SCm}$$

Supondo que a variável  $V^{SCi}$  dependa dos valores assumidos pelas variáveis independentes  $A_{f_k}^{SCi}, A_{f_{k+1}}^{SCi}, \dots, A_{f_n}^{SCi}, \forall i \in \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$  e  $\forall k \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ , então a determinação dos  $f_k^V, f_{k+1}^V, f_n^V$  poderá ser obtida pela *regressão linear múltipla*, estabelecendo-se que essa dependência seja expressa por:

$$V^{SC} = w + f_1^V A_{f_1} + f_2^V A_{f_2} + \dots + f_n^V A_{f_n} + U \tag{6}$$

onde:

- $V^{SC}$  = estimativa do total de viagens geradas nos setores censitários;
- $w$  = constante de regressão
- $f_k^V$  = fator das viagens da classe foto-interpretada  $k, \forall k \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ;
- $A_{f_k}$  = área total da classe foto-interpretada  $k, \forall k \in \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ;
- $U$  = componente aleatória (erro), que expressa as variações das medidas, e as influências das variáveis que foram omitidas no modelo.

O ajuste dos valores dos fatores das classes foto-interpretadas  $f_k^V$  será realizado através da *regressão linear múltipla* entre os valores observados e obtidos pelo método dos mínimos quadrados. Este método especifica que, retirada uma amostra de  $x$  observações das variáveis  $V^{SCi}, A_{f_k}^{SCi} \forall SC_i$  com  $i \in \{1, 2, 3, 4, \dots, m\}$ , deve-se determinar as estimativas  $w, f_1^V, \dots, f_n^V$ , para obter a Eq. (6). Assim o cálculo desses valores, será tal que os quadrados dos desvios dos valores observados em relação aos estimados para  $V^{SC}$  sejam mínimo. Vários autores abordam os aspectos teóricos das técnicas de mínimos quadrados (Costa Neto, 1977), como também, existem vários programas computacionais desenvolvidos para a sua solução, razão pela qual não será abordado neste item da modelagem.

#### 4.3.2. Viagens por Zona de Tráfego

Para uma zona de tráfego  $ZT_a$  o número total de viagens geradas  $V^{ZTa}$  será igual ao produto do fator de viagens da classe foto-interpretada ( $f_k^V$ ) pela área total da classe foto-interpretada  $k$  localizada nessa zona ( $A_{f_k}^{ZTa}$ ). Para  $n$  classes foto-interpretadas e  $p$  zonas de tráfego, teremos o seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} V^{ZTa} &= u_a^{ZTa} + f_k^V A_{f_k}^{ZTa} + f_{k+1}^V A_{f_{k+1}}^{ZTa} + \dots + f_n^V A_{f_n}^{ZTa} + U_a^{ZTa} \\ V^{ZTa+1} &= u_{a+1}^{ZTa+1} + f_k^V A_{f_k}^{ZTa+1} + f_{k+1}^V A_{f_{k+1}}^{ZTa+1} + \dots + f_n^V A_{f_n}^{ZTa+1} + U_{a+1}^{ZTa+1} \\ &\vdots \\ V^{ZTp} &= u_p^{ZTp} + f_k^V A_{f_k}^{ZTp} + f_{k+1}^V A_{f_{k+1}}^{ZTp} + \dots + f_n^V A_{f_n}^{ZTp} + U_p^{ZTp} \end{aligned} \tag{7}$$

Um processo semelhante ao desenvolvido para os setores censitários é seguido para a análise das zonas de tráfego, obtendo-se:

$$V^{ZT} = u + f_1^V A_{f_1} + f_2^V A_{f_2} + \dots + f_n^V A_{f_n} + U \tag{8}$$

onde:

$u$  = constante de regressão;

$U$  = componente aleatória (erro), que expressa as variações das medidas e as influências das variáveis que foram omitidas no modelo.

## **6. APLICAÇÃO DO MODELO NA ÁREA URBANA DE SOBRADINHO - DF.**

Este item tem como objetivo verificar a aplicabilidade do modelo proposto. Valores das viagens para cada Setor Agregado Homogêneo (SAH) foto-interpretado em função das viagens geradas em cada Zona de Tráfego e dos dados desagregados a nível dos Setores Censitários são calculados para a área urbana de Sobradinho.

Sobradinho é localizada a cerca de 23,5 km ao nordeste de Brasília DF, às margens da Rodovia BR - 020, com uma população da Região Administrativa para 1996 de 93.160 habitantes (CODEPLAN - IBGE - IDHAB/DF, 1996) que na sua grande maioria desenvolvem atividades ligadas ao Plano Piloto. O conhecimento de algumas características da área em estudo são importantes para o processo de modelagem, destacando-se as seguintes:

*Uso do Solo Urbano*, segundo a concepção do projeto urbanístico a cidade dividiu-se por setores (CODEPLAN, 1984), sendo o Setor Residencial e/ou comercial, a unidade celular da cidade. Nas laterais de cada quadra encontram-se áreas reservadas ao comércio local em cujas extremidades ficam as áreas especiais e áreas reservadas. Foram previstas, também, áreas para ensino e lazer. As Quadras Comerciais, localizadas no centro da cidade formada por quadras e setores tais como Setor Administrativo, Setor Hoteleiro. O Setor Industrial, de oficinas em geral, pequenas fábricas e depósitos estão localizados em Áreas Isoladas e Áreas Especiais.

*Dados da matriz de Origem - Destino da Pesquisa Domiciliar* - realizada pela Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central (CODEPLAN, 1990) para a Região Administrativa de Sobradinho. Sendo que as viagens internas relacionam-se a 14 zonas de tráfego numeradas de 236 a 249, correspondendo às viagens realizadas por todos os modos e motivos em um período de 24 horas.

*Dados do Censo Demográfico realizado pela Fundação IBGE*, obtidos no mês de setembro de 1991, dos quais foram selecionadas o total de domicílios, o total de casas, a população total no domicílio, o rendimento em salários mínimos, e a renda média nominal dos chefes de família (RMN).

### **6.1. Definição das Classes Foto-Interpretadas da Área em Estudo**

No presente item aplica-se a metodologia para a obtenção das CFIs, explicitando os procedimentos seguidos para o georeferenciamento das fotografias aéreas no SIG. É discutida ainda, a disposição espacial das classes dentro das zonas de tráfego definidas pela CODEPLAN para Sobradinho.

#### *6.1.1. Georeferenciamento das Fotografias Aéreas*

Para a identificação das classes foto-interpretadas, é necessário o desenvolvimento do projeto no SIG através da criação de um banco de dados com informações sócio-econômicas e de viagens. Essas informações foram relacionadas a categorias, feições e tabelas das zonas de

tráfego, setores censitários e classes foto-interpretadas. Passou-se assim a construção dos mapas para cada uma das feições criadas.

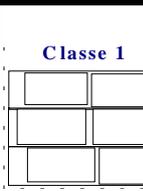
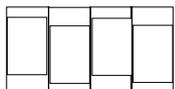
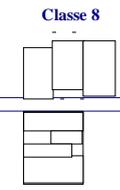
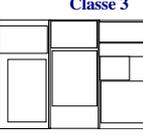
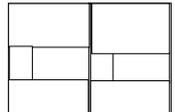
As fotografias aéreas em escala 1:8.000, obtidas da CODEPLAN, foram transformadas em formato *raster* em uma resolução de 300 *dpi*, sendo georeferenciadas através do software *I/RAS C -Image Rastering-* (1993) módulo do *Mapping/Modular GIS Environment -MGE-* (1994), através de um processo chamado de Correção Geométrica (Crósta, 1993). O primeiro permite uma rápida integração das fotografias aéreas, dentro de uma base vetorial, possibilitando vetorizar as áreas das CFIs tendo como fundo a imagem digital. Ao término desta etapa já é possível a análise das fotografias aéreas para a identificação dos padrões das unidades homogêneas, e conseqüentemente da determinação das CFIs.

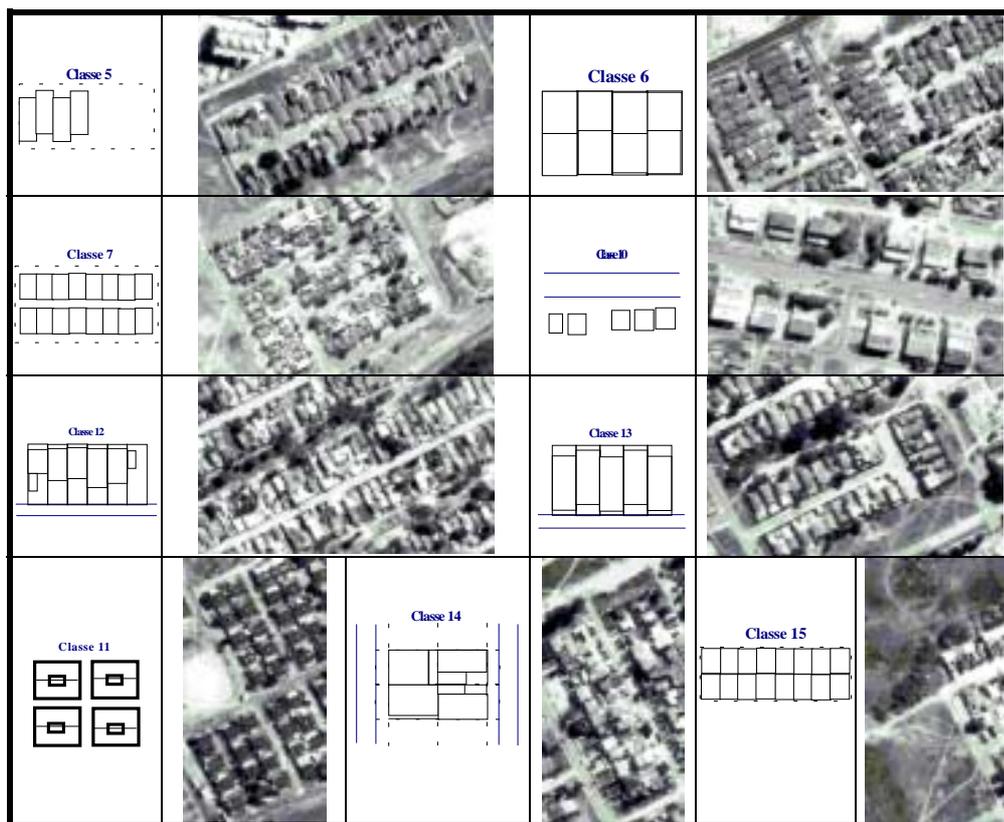
### 6.1.2. Determinação das Classes Foto-interpretadas

Inicialmente, o processo geral da análise do tecido urbano envolveu a delimitação de macro-setores homogêneos em função do uso do solo, buscando uma compreensão geral da área e visando a separação das áreas residenciais daquelas construídas para outros fins. Esses macro-setores foram definidos em função da metodologia proposta, encontrando-se agrupados em Nível residencial, de comércio e serviços, transportes comunicações e serviços públicos, e usos urbanos mistos. Sobre a identificação destes macro-setores, passou-se a trabalhar na análise das características típicas de cada segmento do setor, definindo-se as classes.

Nas zonas de tráfego que compõem a área urbana da cidade de Sobradinho, foram identificadas 16 classes foto-interpretadas, cujas características de localização em relação à via, padrão geométrico e padrão fotográfico são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

**Tabela 2:** Padronização das classes foto-interpretadas

Padrão Geométrico	Padrão -Fotográfico	Padrão Geométrico	Padrão -Fotográfico	Padrão Geométrico	Padrão -Fotográfico
<p>Classe 1</p> 		<p>Classe 2</p> 		<p>Classe 8</p> 	
<p>Classe 3</p> 		<p>Classe 4</p> 		<p>Classe 9</p> 	



**Tabela 3:** Características das Classes Foto-interpretadas por Zonas de Tráfego

<p><b>236:</b> É identificado nesta ZT duas classes foto-interpretadas. A classe <math>f_{10}</math> constituída como setor de comércio entre quadras, distribuída em toda a área de estudo. A classe <math>f_{16}</math> constituída por uma grande área, com pouca construção e de características não residenciais, denotando assim, uma ocupação de atividades diversas como oficinas.</p>
<p><b>237-238:</b> São identificados quatro tipos de unidades homogêneas, que agrupadas constituem as classes foto-interpretadas <math>f_1</math>, <math>f_2</math>, <math>f_3</math>, e <math>f_4</math>. A classe <math>f_1</math> apresenta maior reflectância quando comparada com as outras unidades desta zona. Isto pode ser explicado pela escassa cobertura vegetal, denotando um tempo de ocupação menor que as anteriores. O tipo <math>f_2</math> apresenta quintais na parte frontal da casa dando acesso a via, e uma geometria similar entre os lotes. Já as áreas que ocupam a classe <math>f_3</math>, e <math>f_4</math> apresentam respostas espectrais baixas, devido a existência de cobertura vegetal. Nota-se em certos aspectos uma similaridade entre estas classes, entretanto o fator adensamento é um ponto divergente. Na classe <math>f_3</math> os lotes são de maior dimensão e um menor número de lotes por área. Na classe <math>f_4</math>, observa-se um maior número de casas por metro quadrado.</p>
<p><b>240-246:</b> São identificadas cinco classes: <math>f_5</math>, <math>f_6</math>, <math>f_7</math>, <math>f_8</math> e <math>f_9</math>. A classe <math>f_5</math> é caracterizada por estar constituída por um conjunto de casas geminadas, em grupos isolados sem vizinhança frontal ou posterior e com os tetos tipo meia água. A classe <math>f_6</math>, também geminadas, com a diferença de encontrar-se agrupadas com vizinhança posterior. A classe <math>f_7</math>, com uma maior ocupação por área em relação as classes anteriores, apresentou uma resposta espectral média, caracterizada pela distribuição do conjunto de lotes simétricos com mediação de uma área livre comum entre ambas. A classe <math>f_8</math> é identificada próxima aos conjuntos habitacionais, com indícios de ocupação não projetada, de geometria dispersa e com densidade menor que as outras, apresentando pouca área ocupada por lote. A classe <math>f_9</math> é composta pelos conjuntos habitacionais (edifícios), facilmente observados pela sombra que projetam e pela sua geometria homogênea. As áreas dessas zonas denotam características de ocupação recente, e com indícios de um menor desenvolvimento urbano com relação as outras áreas em estudo.</p>
<p><b>243:</b> Repetem-se as classes <math>f_2</math>, <math>f_3</math>, <math>f_4</math> e <math>f_{10}</math>, com a classe <math>f_3</math> ocupando a maior área nesta</p>

zona, distinguindo-se também as classes  $f_{12}$  e  $f_{13}$ . A classe  $f_{12}$  tem um padrão de ocupação da metade do lote e com geometria uniforme, no entanto na classe  $f_{13}$  a dimensão do lote é maior e a geometria da construção é dispersa.

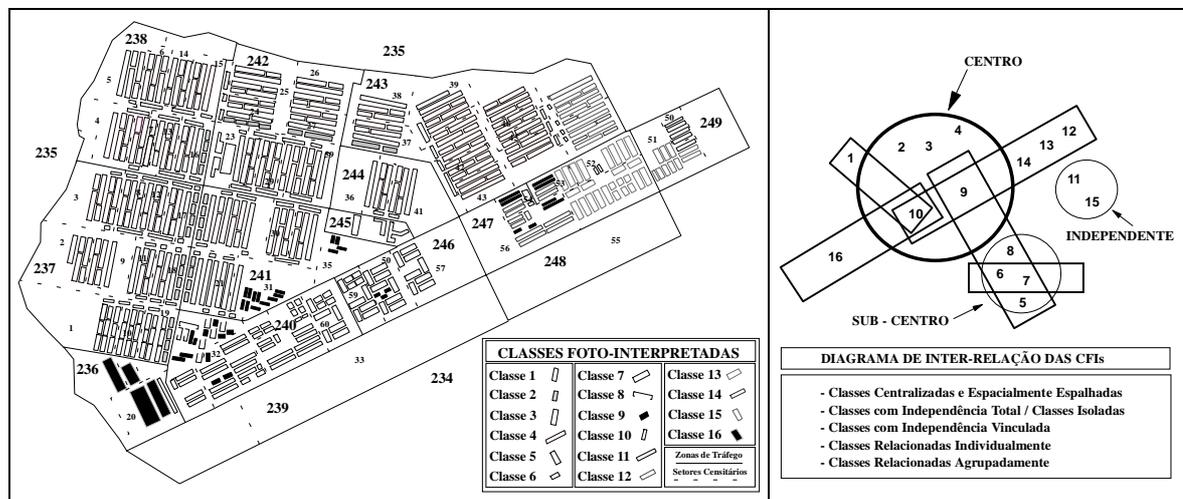
**247:** São identificadas as classes  $f_9, f_{10}, f_{13}$  descritas anteriormente e a classe  $f_{14}$ , que apresenta uma geometria da área ocupada dispersa com densidade de área construída superior à metade do lote.

**249:** Nesta zona a área ocupada por lote apresenta uma característica específica devido a sua recente implantação onde distingue-se duas classes. A classe  $f_{15}$ , com áreas dos lotes de menor dimensão comparados com as outras classes e apresentando um forte adensamento. A classe  $f_{16}$  constituída por casas pré-moldadas, de geometria totalmente uniforme e distribuídas em quarteirões bem delimitados.

### 6.1.3. Definição de Setores Agregados Homogêneos (SAH)

Inicia-se basicamente com a identificação dos padrões de unidades de CFIs, e cujo agrupamento espacial destas classes na área urbana formam os setores agregados homogêneos. A análise espacial e a inter-relação das CFIs é apresentada na Figura 2. Pode-se observar através da distribuição das classes que existem alguns eixos que norteiam o surgimento dos setores. Identificando a existência de cinco principais tipos de formas de relacionamento, claramente diferenciados de acordo com a disposição espacial e a forma como as CFIs se combinam, constituirão os SAH. Assim identificou-se 15 setores agregados homogêneos, como resultado da análise de inter-relação espacial entre as CFIs, mostradas na Figura 2.

Essa distribuição das classes em SAH permite estabelecer a forma de tratamento matemático entre os valores das viagens geradas e as áreas das CFIs, considerados como particulares para cada tipo de classe em relação ao uso do solo na área urbana de Sobradinho.



**Figura 2:** Classes Foto-interpretadas e Diagrama de Inter-relação para Sobradinho

## 6.2. Cálculo do Fator das Viagens Geradas por Classe Foto-Interpretada

Com as viagens geradas agregadas por Setor Censitário e com as áreas de cada uma das 16 classes foto-interpretadas vectorizadas, foi criada a matriz de correlação  $M_{m \times n}$  de 64 setores censitários (sc\_id) por 16 colunas das áreas ( $A_i$ ) das CFIs. Utilizando estas variáveis, buscou-se estabelecer a equação de correlação para a matriz, e assim determinar o valor de cada um dos fatores das viagens geradas para cada classe. Estatisticamente, esta correlação foi solucionada através do método de Regressão Linear Múltipla, obtendo-se para cada um dos fatores o valor médio e seu desvio padrão. Foram realizadas várias simulações,

apresentando-se a solução obtida da Eq. (11) que resulto na melhor correlação (93%). Na Tabela 4, são apresentados os valores dos coeficientes para as CFIs, e para diversos padrões de uso do solo.

$$\text{LOG}(V^{SC}) = \sum_{k=1}^{16} f_k A_k \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^{16} f_k A_k = f_1 A_1 + f_2 A_2 + f_3 A_3 + \dots + f_{14} A_{14} + f_{15} A_{15} + f_{16} A_{16} \tag{10}$$

sendo  $\varphi = \sum_{k=1}^{16} f_k A_k$  então  $V^{SC} = e^\varphi$  (11)

**Tabela 4:** Resultados ajustados para o modelo LOG( $V^{SC}$ ) por CFI

Padrão do Uso do Solo	Classe foto-interpretada	Coefficiente x $10^{-6}$ viagens/m <sup>2</sup>	Padrão do Uso do Solo	Classe foto-interpretada	Coefficiente x $10^{-6}$ viagens/m <sup>2</sup>
R. Prédios	$f_9$	1054,0	R. Casas	$f_4$	85,0
R. Casas	$f_{15}$	216,0		$f_{14}$	77,0
	$f_6$	201,0		$f_{13}$	54,0
	$f_{12}$	162,0	Uso Misto	$f_{16}$	51,0
	$f_1$	143,0		$f_2$	45,0
	$f_3$	122,0	R. Casas	$f_5$	34,0
	$f_{11}$	106,0	Comercial	$f_{10}$	27,0
	$f_7$	94,0	R. Casas	$f_8$	-94,0

R = Residencial

Uso Misto = Comercial, Residencial e Oficinas

#### 6.4 - Análise dos Resultados Estatísticos

Em função dos valores obtidos, as variáveis a serem consideradas no processo da análise quantitativa e qualitativa dos fatores das classes foto-interpretadas, foram estabelecidas em função dos dados sócio-econômicos por setor censitário, expressos em função da renda familiar em salários mínimos, dos padrões de ocupação do uso do solo, seja residencial, comercial e de usos mistos (comércio + residencial, residencial + oficinas), e dos padrões geométricos e fotográficos resultado da foto-interpretação.

Assim é observado que para o grupo residencial tipo casas agrupa-se uma maior quantidade de classes totalizando-se em 12. Como era de se esperar, é no padrão de uso do solo residencial tipo prédio que se encontra o maior fator de geração de viagens em função do número de domicílios por metro quadrado é apresentando uma das rendas familiares mais elevadas. É ainda no grupo residencial que se verifica o menor fator de geração de viagens através do  $f_8$  apresentando um valor negativo.

A existência de um fator negativo no agrupamento de fatores residenciais motivo a realização de uma análise específica desta classe nos setores censitários onde ocorre, procurou-se estabelecer uma relação com os outros fatores apresentados nesse grupo residencial. Verificou-se que a classe  $f_8$  é encontrada exclusivamente no setor censitário 20C

juntamente com as classes  $f_5$  e  $f_9$ , assim, relacionando-se com outros fatores. Esse fato mostra que a classe  $f_9$  exerce influência sobre a  $f_8$ , devido ao caráter predial da primeira classe, com uma alta taxa de domicílios por metro quadrado, quando comparado com a  $f_8$  do tipo residencial casas. Portanto existem as seguintes hipóteses que podem explicar esse fato: a primeira seria a necessidade da verificação *in loco* do número de viagens por metro quadrado; a segunda seria um novo reagrupamento dos padrões de foto-interpretação para o setor 20C; e finalmente, verificar a desagregação dos dados de viagens da zona de tráfego para setores censitários.

Em relação ao uso do solo misto e comercial é constatado a presença das classes  $f_2$ ,  $f_{10}$  e  $f_{16}$ . Verifica-se que nesses padrões apresentam um número reduzido de domicílios, levando assim a fatores pequenos de viagens geradas por metro quadrado.

Finalmente da análise estatística, verifica-se que o nível de significância da relação entre os fatores das classes foto-interpretadas apresentam resultados aceitáveis, uma vez que, esses valores estão bastante distanciados da unidade, apresentando assim a característica de não dependência o que é a condição básica dos modelos de regressão linear múltipla. Por outro lado, pode-se observar que valores do teste “t” para as classes  $f_2$ ,  $f_5$ ,  $f_8$ ,  $f_{12}$  e  $f_{13}$  se encontram fora da curva de probabilidade considerando-se 95% de representatividade. Isso significa que essas classes possuem algumas características em comum e com isso poderia ser necessário um reagrupamento. Porém, de acordo com os valores dos níveis de significância pode-se considerar aceitável o modelo.

## 7. CONCLUSÕES

O modelo de Geração de Viagens desenvolvido a partir das potencialidades do SR e do SIG demonstra ser capaz de atuar como parte do planejamento de transportes urbanos. Através do uso de fotografias aéreas o modelo correlaciona o uso do solo e os transportes, o que além de ser vital para o planejamento torna-se uma tarefa que necessita de poucos dados obtidos em levantamentos de campo pois explora os recursos de análise espacial do SIG.

Apesar dos avanços alcançados neste estudo, as perspectivas para o futuro mostram que muito ainda existe a se realizar. Tanto no sentido do aprimoramento do modelo e nos futuros trabalhos análogos possíveis para outras etapas do planejamento de Transporte. No que se refere ao aprimoramento do modelo vislumbra-se a sua aplicação em outras realidades urbanas e cada vez mais explorar o potencial do SIG, que se mostra ainda em seus primeiros passos como elemento fundamental nas análises de transportes. Já nos estudos para o futuro e pretende-se trabalhar com formulações refinadas onde cada vez mais os resultados obtidos sejam próximos do ideal.

As cidades brasileiras apresentam estruturas urbanas semelhantes, o que pode levar à determinação de padrões de classes foto-interpretadas comuns. Acredita-se que mediante a realização de alguns estudos para estabelecer um Banco de Dados de Classes Foto-interpretadas, seja possível processar a modelagem desenvolvida somente com o uso de fotografias aéreas. Tal fato certamente significaria a redução dos custos atuais para obtenção das informações necessárias ao planejamento dos transportes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avery T.E. e Berlin G.L. (1990) *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. Maxwell Macmillan International, New York.
- Bartoli, S. P., Fortes, J. A. A. e Andrade, N. P. (1996). Sistema de Informação Geográfica como instrumento para avaliação da Acessibilidade Locacional de Parada de ônibus. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, vol. 1, pp. 245-256.
- CODEPLAN (1991) *Pesquisa Domiciliar: Transporte 1990*. Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central, Brasília, DF.
- CODEPLAN - IDHAB/DF. (1996) *População do Distrito Federal por Região Administrativa 1991-1996 Brasília DF*. Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central - Instituto de Desenvolvimento Habitacional do DF., Brasília, DF.
- Costa Neto, P.L. (1977) *Estatística*. Edgard Blucher, São Paulo, Brasil.
- Crósta A.P. (1993) *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. IGI/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.
- Dantas, A.S.; Taco P.W.G. e Yamashita Y. (1996) Sistemas de Informação Geográfica em Transportes o Estado do Estado da Arte. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, vol. 1, pp. 211-222.
- I/RASC (1993) *Getting Started*. Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, United States.
- Gatrell, A.C. (1991) Concepts of Space and Geographical Data. In: Maguire D. J., Goodchild M. F., Rhind, D. W. (eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. vol. 1, pp. 119-134, Inglaterra, Reino Unido.
- MGE (1994) *Mapping / Modular GIS Environment. Getting Started for the Windows NT Operating System*. Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, United States
- Silva, A.N.R.; Lima, R.S. e Raia, A.A. (1995) Utilizando um Sistema de Informação Geográfica para Estimar viagens em uma Cidade de Porte médio. *Anais do IX Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, São Carlos, VOL. 3, pp. 1173-1183.
- Taco, P. W.G; Yamashita, Y. e Souza, N.M. (1996) Definição de Setores Agregados Homogêneos (SAH) Usando Sensoriamento Remoto Para a Análise de Zonas de Tráfego. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, vol. 1, pp. 223-234.
- Taco, P. W.G. (1997) *Modelo de Geração de Viagens com Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto*. Dissertação de Mestrado em Transportes Urbanos, Universidade de Brasília, Brasília DF.
- Yamashita Y.; Dantas A.S.; Taco P.W.G. e Bartoli S.P. (1997) Cyclist Route Analysis Using the Geographical Information Systems: A Brazilian City Case Study. *10<sup>th</sup> International Bicycle Planning Conference*, Barcelona, Espanha.

Universidade de Brasília

Mestrado em Transportes Urbanos

CEP: 70910-900 Brasília/DF - Brasil

Tel.: (061) 348-2714 - Fax.: (061) 272-0732

e-mail:

pastor@guarany.cpd.unb.br

yaeko@guarany.cpd.unb.br

asdantas@guarany.cpd.unb.br