

Data Envelopment Analysis and Geoprocessing to measure the efficiency in the companies distribution in the city of Osasco (Brazil)

Análise Envoltória de Dados (DEA) e Geoprocessamento para medir a eficiência na instalação de empresas no município de Osasco – SP

George Eduardo Serra Almeida¹, José Alberto Quintanilha², Linda Lee Ho³

¹ Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Engenharia de Transportes – PTR, Universidade de São Paulo – USP, CEP – 05508-900, São Paulo – SP, Brasil, gserra@directnet.com.br

² Departamento de Engenharia de Transportes – PTR, Universidade de São Paulo – USP
São Paulo – SP, Brasil, jaquina@usp.br

³ Departamento de Engenharia de Produção – PRO, Universidade de São Paulo – USP
São Paulo – SP, Brasil, lindalee@usp.br

Palavras-chave: Análise Espacial, Planejamento Urbano, Sistemas de Informações Geográficas, Análise Envoltória de dados

ABSTRACT This study evaluates the influence of spatial factors in location and migration of companies (industries, services, commerce) in the zoning and in the urban expansion of Osasco Municipality (located in São Paulo State, Brazil). For such purpose, were used socioeconomic and spatial data from different periods (1993 and 2000) and different urban situations (before and after the building of the road named RODOANEL). To make the evaluation, data envelopment analyses models were used to analyze the spatial distribution of companies.

RESUMO O estudo avaliou a influência dos fatores espaciais no processo de localização e migração de empresas (indústria, comércio e serviços) no zoneamento do solo e no processo de expansão urbana do Município de Osasco (São Paulo). Para realização do estudo, foram usados dados socioeconômicos e espaciais considerando períodos de tempo (1993 e 2006) e situações urbanas diferenciadas (antes e depois da construção do trecho oeste do Rodoanel). Para avaliação dos resultados, foram usados modelos de análise envoltória de dados para analisar a distribuição espacial das empresas.

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo, composta por 39 municípios, apresenta um dinamismo no crescimento populacional e no desenvolvimento urbano e industrial. Este fato teve início a partir dos anos 40 e 50 devido ao intenso processo de urbanização e industrialização na região (Grostein, 2001).

Nesta região, encontra-se o Município de Osasco, cujo desenvolvimento urbano e econômico foi favorecido pela proximidade ao Município de São Paulo e por uma boa infraestrutura viária existente.

O propósito deste trabalho é apresentar uma análise da dinâmica empresarial urbana do Município de Osasco usando um Sistema de Informações Geográficas - SIG, associado a análise espacial e um índice de instalação de empresas associado ao zoneamento urbano do município.

O uso de um Sistema de Informações Geográficas, associado a análises exploratórias espaciais e o modelo de Análise Envoltória de Dados - DEA, permitiu uma análise comparativa das alterações no quantitativo de empresas instaladas no Município de Osasco, antes e depois da construção do Trecho Oeste do Rodoanel “Mário Covas”, identificadas e mapeadas através de fotografias aéreas e imagens de satélite. Estas análises possibilitaram a modelagem do potencial de mercado existente e conseqüente apoio no planejamento urbano da região.

As obras desse trecho do Rodoanel tiveram início em 1998 e foram concluídas em 2002. As análises efetuadas utilizam dados dos períodos entre 1991 a 1998 (pré-construção) e 2002 a 2006 (pós-construção).

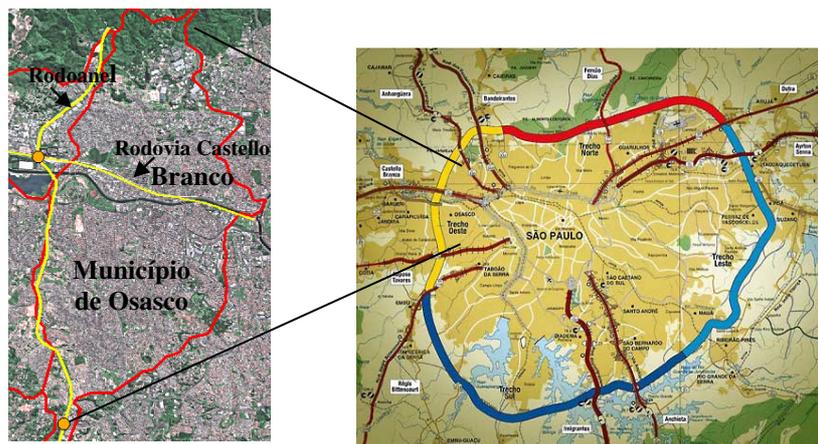
2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O Município de Osasco situado na Região Metropolitana de São Paulo é cortado pelas Rodovias Castello Branco, Raposo Tavares e Anhanguera e possui uma localização privilegiada em relação aos demais municípios vizinhos da capital paulistana, sendo a quinta maior cidade do Estado e o 9º município paulista em arrecadação do PIB *per capita* do Estado. (SEADE, 2003). A Fig. 1 mostra a localização do município e do trecho considerado do Rodoanel. Com uma população de 686.872 habitantes, distribuídos ao longo dos seus 70 Km² de área urbana e uma taxa de crescimento demográfico de 1,29% ao ano, no período de 1996 a 2000 (SEADE, 2000), fazem de Osasco uma das cidades com maior índice de desenvolvimento do estado.

Figura 1: Município de Osasco e sua localização no trecho Oeste do sistema rodoviário Rodoanel Mário Covas.

Fonte: Adaptação de DERSA, 2005.



2.2 Criação do Banco de Dados Geográfico

Por ser o estudo realizado em períodos de tempo distintos (1993 e 2006), uma série de dados geográficos e sócio-econômicos foram coletados com o objetivo de explicar as possíveis transformações empresariais existentes no município em decorrência da construção do Rodoanel.

A etapa inicial do trabalho consistiu na criação do banco de dados geográfico e na compatibilização dos variados formatos de dados espaciais e tabulares. As informações existentes oriundas de diversos órgãos públicos e privados estavam representadas em diferentes formatos e extensões de software, como nos dados vetoriais: CAD (Autodesk), Shapefile e Coverage (ESRI); em tabelas: Access e Excel (Microsoft); nos formatos de imagens: IMG (ERDAS/Leica), Grid (ESRI) e JPeg, além de dados em formato analógico. Estes dados também possuíam diferentes sistemas de projeção cartográfica com escalas e precisões diferenciadas. Utilizou-se, como arquivo de referência, o formato de banco de dados espacial do software ArcGIS da ESRI, denominado *Geodatabase*, onde este permite o armazenamento de informações geográficas e tabulares em um ambiente de banco relacional, assim como a criação de estruturas para manutenção e integridade da base como: relacionamentos espaciais, tabulares e topologia. A lista de dados utilizados é mostrada na Tab. 1.

2.3 Integração das Unidades de Gestão e Cálculo dos Indicadores por Zona

Os estudos realizados tendo como base as Análises Envoltórias de Dados – DEA são usados como modelos da área de pesquisa operacional para quantificar e comparar a eficiência de regiões ou processos similares. Segundo Charnes et al. (1978), os modelos DEA baseiam-se em agregações de variáveis de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*), criando variáveis virtuais, para obter como resultado uma combinação linear das variáveis originais denominadas *eficiências*. Os pesos usados nesta combinação são calculados através de programação linear, de forma que cada unidade decisora, ou DMU (*decision making unit*) se beneficie com a melhor combinação de pesos, maximizando assim sua eficiência.

As variáveis e as eficiências foram calculadas usando o programa¹ desenvolvido no software Matlab e foram mostradas sob a forma de mapas produzidos em ambiente SIG.

Tabela 1: Variáveis usadas no modelo de Análise Envoltória de Dados – DEA

Dados	Variáveis
Setores censitários 1991, 1996 e 2000 Fonte: IBGE	Físicas - Quantidade de domicílios e índice de verticalização Socioeconômicas – Quantidade de pessoas, renda média e densidade populacional
Planta Genérica de Valores Imobiliários 1994 e 2004 Fonte: Prefeitura de Osasco	Valores de preço médio do terreno espacializados por face de quadra
Empresas especializadas no município 1998 e 2003 Fonte: RAIS-MTE	Quantidade de empresas, distância das empresas aos acessos das rodovias: Rodoanel e Castello Branco
Planta de Zoneamento ² 1993 e 2006 Fonte: Prefeitura de Osasco	Mapeamento e Área geográfica das zonas em Km ²
Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2003 Fonte: Interpretação de Imagem de Spot	Mapeamento e Área geográfica de uso em Km ²

Agradecimentos a Anderson Laécio Galindo Trindade¹ pelo desenvolvimento do programa em Matlab e a Prefeitura de Osasco² pela cessão dos dados cadastrais usados no trabalho.

O estudo comparativo entre as variáveis em períodos de tempo distintos, propiciou o diagnóstico do comportamento espacial das empresas no zoneamento do município, cujos resultados foram comparados com as plantas de zoneamento e de uso do solo urbano da Prefeitura de Osasco.

Para este estudo foi utilizado o modelo de DEA denominado de CCR (Constant Returns to Scale) no qual variações nos *inputs* produzem mudanças proporcionais nos *outputs* (Charnes et al., 1978). Em sua formulação matemática considera-se que cada DMU j , $j = 1 \dots n$, é uma unidade de produção que utiliza m *inputs* x_{ij} , $i = 1 \dots m$, para produzir s *outputs* y_{rj} , $j = 1 \dots s$. Esse modelo maximiza o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1.

Portanto pode-se descrever o modelo CCR da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar: } h_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\ \text{Sujeito a: } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1; \\ -u_r &\leq \varepsilon; \\ -v_i &\leq \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

Onde:

n DMUs

Cada DMU j ($j=1, \dots, n$) é caracterizada por:

m *inputs* – vetor x_{ij}

s *outputs* – vetor y_{rj}

(v_i, u_r) – Ponderação das variáveis de entrada (*input*) e saída (*output*)

$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}$ - *Output* virtual total da DMU j

$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}$ - *Input* Virtual total da DMU j

$h_0 = 1$ – Alta eficiência

$h_0 < 1$ – Baixa eficiência ou ineficiência

2.4 Criação e Análise do Índice de Instalação de Empresas

A criação do índice de instalação de empresas serviu para analisar a distribuição espacial de empresas (indústria, comércio e serviço) no zoneamento do solo urbano do Município de Osasco, usando o modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) e as ferramentas espaciais dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para visualização, edição e integração dos dados. Para o modelo DEA foram usadas múltiplas entradas (*inputs*), X_{ij} ($i = 1, \dots, m$), como a quantidade de empresas nos anos de 1998 e 2003, além da variável geográfica de distância média destas empresas aos acessos da Rodovia Castello Branco e do Rodoanel, por representarem uma vantagem na localização de empresas e devido à facilidade do escoamento da produção, dos serviços e do recebimento de insumos e clientes. Para as saídas (*outputs*) $Y_{r,j}$ ($j = 1, \dots, s$) foram usados dados sócio-econômicos do IBGE (o quantitativo populacional e a renda média

especializados em setores censitários nos anos de 1991 e 2000), além do preço médio de terreno espacializados por face de quadra para os anos de 1994 e 2005.

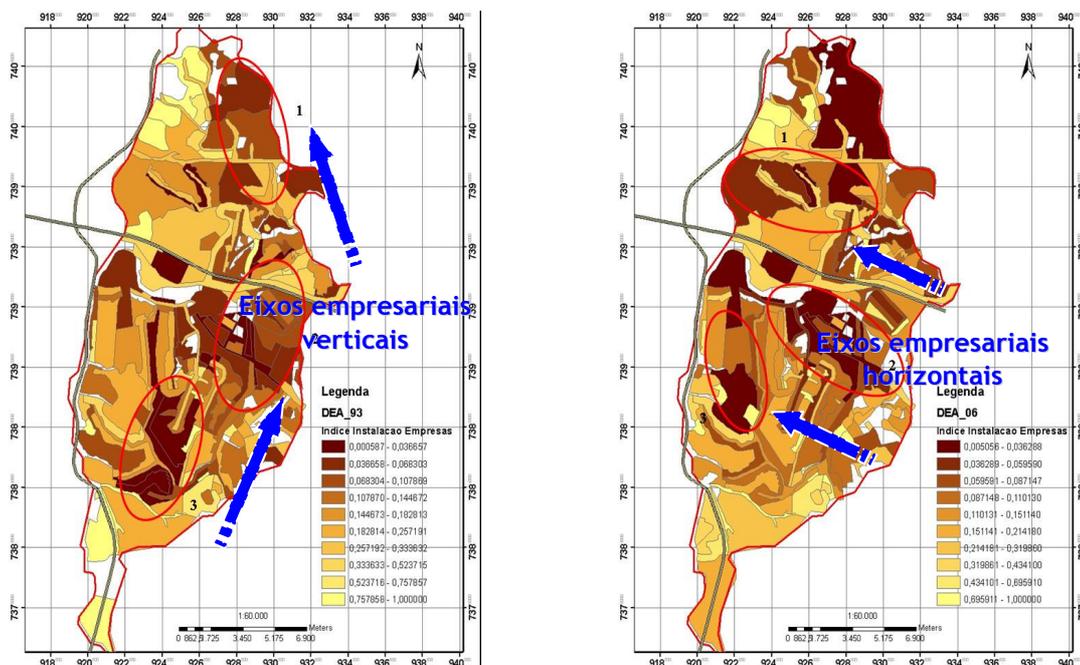
As unidades do zoneamento municipal nos anos de 1993 e 2006 representaram a unidade geográfica final de integração e centralização das variáveis j , ($j = 1\dots,n$) e foram adotados como sendo as DMUs. Estas foram então ponderadas (V_i, U_r) para serem somadas, onde o numerador descreve a soma das saídas ponderadas e o denominador a soma das entradas ponderadas. O valor considerado ótimo h_0 pode ser representado como uma taxa e eficiência, para $h_0 = 1$ representando alta eficiência e $h_0 < 1$ baixa eficiência ou ineficiência.

Os resultados podem ser visualizados nos mapas de zoneamento para os anos de 1993 e 2006 da Fig. 2, sendo classificados pelo índice de instalação de empresas a partir do modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) e utilizando para visualização e análise as ferramentas espaciais do SIG.

A escala de cores dos dados apresenta uma variação invertida de 0 a 1, onde os valores próximos a zero representados pelas cores mais escuras representam zonas com alta eficiência na instalação de empresas e os valores próximos a 1, representados pelas cores mais claras as áreas com menor eficiência ou “ineficiência”. Verifica-se que as zonas marcadas nas áreas 1, 2 e 3, na fig. 2 do mapa de 1993, apresentam valores significativos para o índice denotando uma forte eficácia na instalação de empresas para estas regiões. Para ambos os períodos, o índice representa uma forte concentração de eficiência na instalação de empresas na parte central do Município de Osasco, embora para o ano de 1993 esta eficiência seja representada por um eixo imaginário horizontal direcionado a proximidade com o limite da cidade de São Paulo.

Para o ano de 2006, apesar da forte concentração de empresas do setor de comércio e serviços no centro da cidade, nota-se uma maior dispersão em relação ao ano comparativo anterior, havendo uma migração de valores de eficiência nas áreas da zona sul e das proximidades de São Paulo para os arredores das principais Rodovias e vias de acesso da região, configurando assim um eixo imaginário vertical de migração na instalação de empresas.

Figura 2: Comparativo entre os modelos do índice de instalação de empresas e para os anos de 1993 e 2006



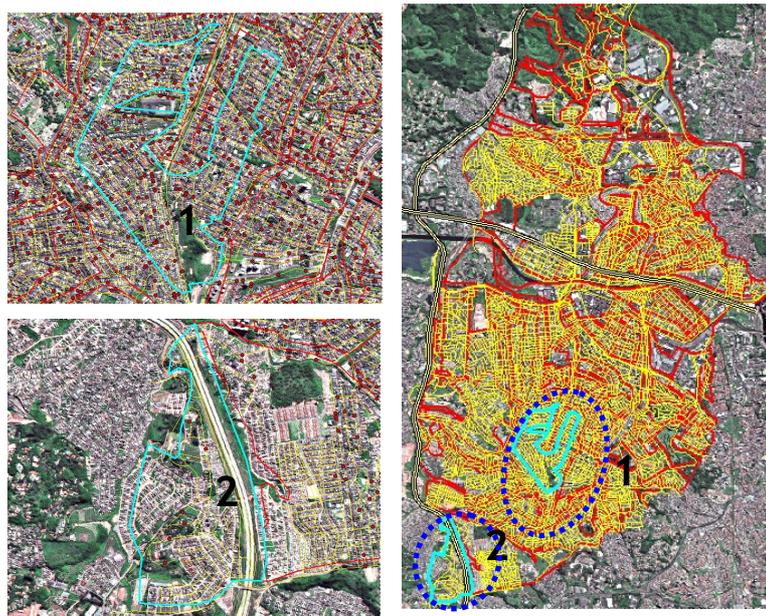
3. RESULTADOS

3.1 Análise do Índice de Instalação de Empresas – 1993

Os resultados obtidos com o índice de instalação de empresas possibilitaram a análise da distribuição espacial de empresas por zona e sua relação com as outras variáveis envolvidas do ano de 1993. Das 158 zonas de 1993, onde foi possível associar o índice, comprovou-se que as zonas que apresentaram maior eficiência na instalação de empresas foram as relacionadas as áreas comerciais e industriais, embora alguns valores de alta eficiência tenham sido atribuídos a zonas residenciais, pois o índice trata de empresas distribuídas em atividades de comércio, serviços e indústrias, caracterizando essas áreas como intraurbanas multifuncionais ou zonas de atividades múltiplas no planejamento do uso do solo urbano do município. Estas áreas embora tenham a descrição de residencial são caracterizadas no zoneamento como pontos de proximidade a eixos comerciais e de serviços e que concentram várias destas atividades.

Os valores com baixo índice de eficiência foram relacionados a regiões denominadas de áreas verdes descritas na lei de zoneamento como sendo de baixa concentração empresarial e delimitadas para uso recreativo ou de proteção ambiental.

Figura 3: Áreas de alta (1) e baixa (2) eficiência em 1993 de acordo com o índice de instalação de empresas



A área de zoneamento do exemplo na fig. 03 - 1 classificada como de alta eficiência tem caracterização de zona residencial com alta densidade demográfica e próxima a eixos comerciais e de serviços. A zona possui um quantitativo de cerca de 400 empresas de porte micro a pequeno e com uma distância média aos acessos das rodovias de cerca de 3500 metros e valor médio de terreno.

A área especificada fig. 03 – 2 foi caracterizada como de baixa eficiência, pois possui uma forte concentração residencial, em uma área geográfica de cerca de 1Km² e uma distância média de 800 metros das empresas até os acessos as principais rodovias. Possui cerca de 30 micro empresas com atividades diversificadas em comércio e serviços e um quantitativo populacional de 23570 pessoas, distribuídas em aproximadamente 5000 domicílios.

Os resultados obtidos para os exemplos da fig. 3, foram de 0,916 para a zona residencial, caracterizada como de baixa eficiência e 0,011556 para a zona residencial e comercial, caracterizada como de alta eficiência na instalação de empresas.

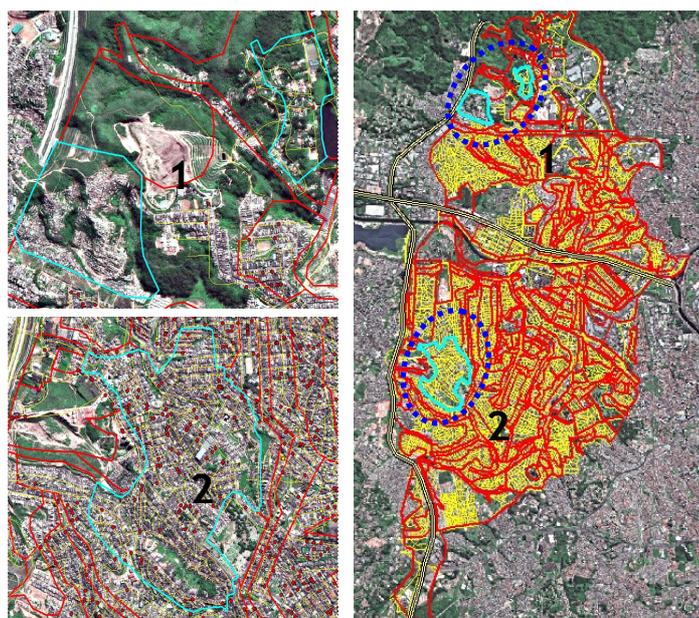
3.2 Análise do Índice de Instalação de Empresas – 2006

O índice de instalação de empresas criado para o zoneamento de 2006 mostrou uma mudança no resultado de eficiência da região e um rearranjo na distribuição espacial de empresas no município. Para exemplificar estas mudanças foram utilizadas algumas áreas com caracterização de alto e baixo índice de eficiência na instalação de empresas e com diferentes características cadastrais e socioeconômicas.

A fig. 4 apresenta como exemplo duas áreas de alta e baixa eficiência no ano de 2006. A ilustração da fig. 4 - 1 representa uma área com característica de baixa eficiência na instalação de empresas, caracterizada como zonas residenciais com baixa densidade demográfica e com área média de cerca de 350 metros quadrados. Estas áreas possuem baixo valor médio no preço dos terrenos, não apresentam empresas instaladas e possuem poucos domicílios. Por estarem localizadas em áreas mais afastadas do centro ou das rodovias possuem pouca infra-estrutura de acesso com apenas algumas ruas esparsas e apresentam um baixo grau de urbanização.

A área caracterizada na fig. 4 - 2 como de alta eficiência e com valor de índice de 0,05056 é caracterizada no zoneamento como uma zona residencial de média a baixa densidade de ocupação. Tal situação não ocorre como descrita na lei de zoneamento, sendo a área densamente povoada com cerca de 35000 pessoas distribuídas em 9000 domicílios e em uma área geográfica de aproximadamente 1,5 Km². A zona possui cerca de 250 empresas com perfil classificado como micro e ligado a atividades comerciais, com distância média de 3000 metros aos acessos das rodovias. Possui um valor mediano de terreno e uma renda média de cerca de 4 salários mínimos por setor censitário que engloba aproximadamente 300 domicílios por área de coleta de informações cadastrais.

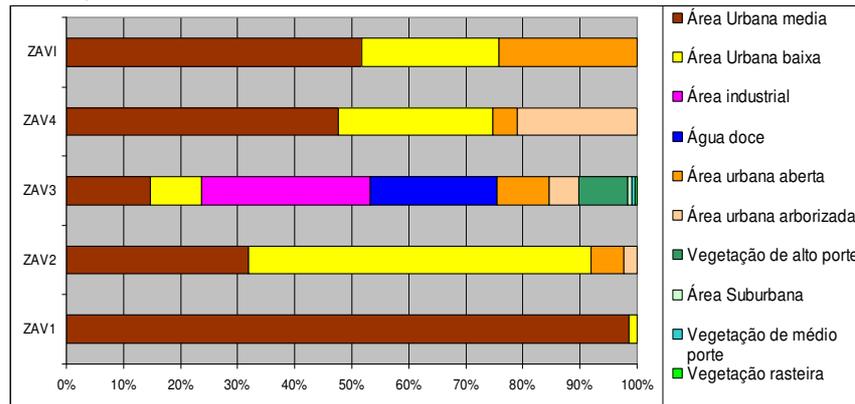
Figura 4: Áreas de baixa (1) e alta (2) eficiência em 2006 de acordo com o índice de instalação de empresas



3.3 Análise do Zoneamento com Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano

O cruzamento do zoneamento com o mapa de uso e ocupação do solo, obtido via classificação e interpretação visual de imagem de satélite, proporcionou a visualização e quantificação da situação multifuncional do município em função do estipulado no zoneamento. Embora estas áreas possuam legislações específicas criadas para o uso do solo da região, na prática tal fato não ocorre como planejado, havendo o uso e instalação de múltiplas atividades em áreas com destinações específicas regulamentadas por lei.

Gráfico 1: Áreas ambientais de zoneamento com classes de uso do solo



Como a área de estudo apresenta uma forte concentração urbana e comercial, atenção especial deve ser dada as áreas com denominação ZAV (Zonas de Áreas Verdes e Proteção Ambiental), pois como pode-se verificar no graf. 1, há uma série de outros usos, que não somente os determinados no zoneamento para aquela região, necessitando assim que ações de planejamento sejam tomadas para mitigar o processo de ocupação, evitando assim danos ao meio ambiente e a população.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo foi elaborado com o propósito de analisar a dinâmica na distribuição espacial de empresas (indústria, comércio e serviços) no zoneamento do solo urbano de Osasco nos anos de 1993 e 2006, usando técnicas de Geoprocessamento e Análise Envoltória de Dados – DEA. As técnicas espaciais de álgebra de mapas usadas foram importantes para a análise temporal quantitativa do conjunto de variáveis envolvidas e na caracterização do quadro empresarial da região.

Estas técnicas associadas à Análise Envoltória de Dados permitiram a criação do índice de instalação de empresas municipal e possibilitaram a visualização e exploração de informações adicionais, além das diretamente perceptíveis em um mapa temático.

O uso da Análise Envoltória de Dados - DEA para medir a eficiência na instalação de empresas em unidades de decisão representadas pelas áreas geográficas do zoneamento municipal, permitiu mapear e quantificar a distribuição espacial de empresas e associar um índice de eficiência na instalação destas e na composição de um cenário urbano multitemporal.

Esta avaliação permitiu a verificação de algumas alterações no padrão de concentração de empresas, com algumas características de migração da região central para áreas próximas as

principais rodovias. Este resultado é coerente com o previsto por Biderman (2001), que explica que o custo de transporte serve tanto como motivo de atração, ou seja, as empresas economizam em custo de transporte se localizando em regiões urbanas densas, como de expulsão onde, o aumento da densidade amplia o congestionamento, gerando problemas urbanos.

O mapa de uso e ocupação do solo, produzido por interpretação visual de imagem de satélite para o presente estudo, mostrou uma realidade urbana diversa daquela concebida pelo zoneamento municipal. O contraste entre a configuração urbana planejada e a real ficou evidente no cruzamento entre ambos os mapas, denotando haverem instalações de múltiplas atividades em áreas com destinação específica regulamentada por lei.

A inserção do Índice de Instalação de Empresas em um software SIG permitiu a análise da variabilidade espacial das zonas de decisão (DMUs), obtendo-se um modelo matemático capaz de quantificar e qualificar a eficiência na instalação de empresas.

Os resultados obtidos mostraram que a integração entre o SIG e o DEA potencializa a análise de ambientes complexos como o espaço urbano, permitindo a identificação de padrões empresariais no uso e cobertura do solo e a representação de cenários socioeconômicos representados por diferentes agentes e características urbanas.

5. REFERÊNCIAS

BIDERMAN, C. **Forças de Atração e Repulsão na Grande São Paulo**. 210 f. Tese (Doutorado em Economia de Empresas). Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2001.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. **Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application**, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994.

DERSA – Informações gerais sobre o Rodoanel. 2005. Disponível em: <<http://www.dersa.sp.gov.br/>>.

GROSTEIN, M. D. **Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos "insustentáveis"**. São Paulo, v.15, n.1, p.13-19, jan/mar. 2001.

Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE. **Pesquisas Econômicas**.

Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>> Acesso em: 25 Jul. 2006

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES G. E.; MEZA, L. A; LINS, M. P. E.; **Selección de variables para el incremento del poder de discriminación de los modelos DEA**. Investigación operativa – ano 12 n. 24, 2004.