

## **ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA APLICADA À OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO E MOBILIDADE URBANAS**

**A. J. P. A. Silva, L. C. Assis, M. L. Calijuri e C. A. O. Vieira**

### **RESUMO**

Apresenta-se uma metodologia de análises espaciais integradas por Avaliação Multi-Critérios objetivando otimizar o processo de planejamento da expansão e da mobilidade urbanas no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Determinou-se, por processos automáticos, o melhor traçado de um anel rodoviário interligando as extremidades da cidade às principais vias existentes, de forma a contribuir na circulação das pessoas e mercadorias. Quanto à expansão urbana, identificou-se seis áreas aptas ao crescimento da cidade, privilegiando a ocupação horizontal do território. Em relação à macro-acessibilidade e à mobilidade regional, escolheu-se um local para implantação de sítio aeroportuário compatível aos vôos comerciais. Conclui-se que a metodologia para extração de feições a partir de Modelos Digitais de Adequabilidade permitiu obter o traçado do anel viário, as áreas destinadas à expansão urbana e ao sítio aeroportuário de forma integrada.

### **1. INTRODUÇÃO**

A visão sistêmica e a integração dos meios de transportes constituem importantes etapas no planejamento da mobilidade nacional, estadual, regional e urbana. Estudos realizados no período de 1979 a 2004, publicados no Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT - (Brasil 2007), indicam um crescimento anual de cerca de 5%, no modal Aéreo, com forte intensificação nos últimos anos, mesmo com as inconstâncias oferecidas em relação aos preços das passagens e infra-estrutura aeroportuária reprimida. Em parte, este aumento pode ser devido às médias e grandes distâncias, impostas pelas dimensões continentais do Brasil, situação em que se evidencia o transporte aéreo como o modo mais eficiente e eficaz de deslocamento das pessoas e mercadorias com alto valor agregado. Aliado às deficiências de mobilidade, as cidades brasileiras tem enfrentado sérios problemas ocasionados pela ocupação não planejada do uso do solo urbano.

Neste trabalho, apresenta-se uma proposta metodológica de aplicação de análise espacial através de Sistemas de Informações Geográficas, de forma a se minimizar os efeitos negativos observados no transporte e trânsito urbano, na mobilidade regional e na acessibilidade ao transporte aéreo. Estudos de casos realizados na base digital do município de Viçosa, aplicando-se sucessivas Análises de Avaliação Multi-Critérios (do inglês: Multi-Criteria Evaluation - MCE), indicaram um traçado para a implantação de um anel viário interligando as rodovias federais, estaduais e municipais existentes, o que poderá minimizar as questões relacionadas ao transporte e trânsito do município; indicaram áreas capazes de absorver a expansão urbana próximas ao anel viário sugerido, o que poderá subsidiar decisões futuras sobre o planejamento e ocupação urbana, e, indicaram áreas aptas à implantação de um sítio aeroportuário com pistas capazes de receber vôos

domésticos, o que permitirá a macro-acessibilidade e a mobilidade regional dos municípios e pessoas da região de influência. Acredita-se que o presente trabalho oferece subsídios ao processo de tomada de decisão, por parte dos planejadores e gestores municipais/regionais, por considerar o planejamento conjunto da mobilidade e acessibilidade regional, do transporte e trânsito municipal, e da expansão da ocupação territorial urbana.

## 2. OBJETIVO

Apresentar um método de extração de feições lineares e poligonais, a partir de Modelos Digitais de Adequabilidade (MDA) obtidos por análises integradas de Avaliação Multi-Critérios, para otimizar o planejamento da expansão e mobilidade urbanas.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

### 3.1. Análise por Avaliação Multi-Critérios

Segundo Becker *et al.* (2009), a análise por Avaliação Multi-Critérios consiste em uma das técnicas disponíveis no SIG, usuais no envolvimento de problemas de caráter espacial, para a abordagem de diversos temas. Outra definição mais específica, também citada pelos autores, atesta que “análise multicritério” é a incorporação de um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar ou apoiar o processo de tomada de decisão, dada uma variedade de critérios, estabelecendo relação de preferências entre as alternativas. O processo de tomada de decisão é fundamentalmente governado por escolhas entre alternativas e essas representam hipóteses, ações ou características consideradas no processo. Critérios são conjuntos de informações que podem ser mensurados e avaliados e servem como normas para encontrar as melhores alternativas em um processo decisório, conforme aborda Ramos (2000); Calijuri (2002) e Eastman (2003).

Em uma análise multivariada ou multicritério, os critérios podem ser fatores ou restrições. Restrições limitam de maneira absoluta as possibilidades de um determinado tema analisado. Fatores aumentam ou reduzem a adequabilidade de um determinado tema em um conjunto de valores padronizados em uma escala equivalente. Uma maneira de padronizar valores de variáveis distintas é através do processo de transformação de valores por emprego de funções *fuzzy*. Essas funções transformam os valores originais para uma nova escala, com valores contínuos que representam graus de adequabilidade. Após a padronização dos temas fatores em uma mesma escala, a estratégia seguinte é ranquear os temas conforme seu grau de importância na análise. Para isso utiliza-se o Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process – AHP*), apresentado por Saaty (1980), que permite estabelecer pesos a cada fator segundo sua relevância.

### 3.2. Medida de Risco da Avaliação Multi-Critérios

Para avaliar os cenários obtidos em uma análise de MCE utiliza-se do cálculo de duas variáveis: o Risco e a Compensação. Tais variáveis são referentes ao Risco associado para verificar a coerência analítica na área estratégica de decisão e a Compensação entre os fatores. Tal avaliação permite verificar a coerência na análise ao considerar um risco baixo e uma maior compensação entre os fatores. Obtêm as duas variáveis através das Equações (1) e (2), respectivamente.

$$\text{Risco} = (n-1)^{-1} \sum (n-i) O_i \quad (1)$$

$$\text{Compensação} = 1 - \left\{ \left[ n \sum (O_i - 1/n)^2 \right] / n-1 \right\}^{0,5} \quad (2)$$

Onde:  $i$  é a ordem do peso e  $O_i$  o peso ordenado,  $n$  é o número de fatores e  $\sum$  é o somatório cujo índice  $i=1$  até  $n$ .

### 3.3. Extração de Feições Poligonais a partir de Modelos Digitais de Adequabilidade

Devido às características do produto de uma análise de MCE, esta é comumente utilizada para obtenção de feições poligonais, como sítios e regiões, que possuam uma área mínima com valores de adequabilidade acima de determinado limiar, ambos os valores definidos pelo usuário conforme o propósito da análise.

Um dos algoritmos mais simples para extração de feições poligonais trata-se de um processo iterativo e pode ser aplicado através da sequência de passos: 1) Submete-se o MDA a uma operação de limiarização para restringir áreas de maior aptidão; 2) Processa-se a rotulação unívoca das áreas identificadas; 3) Mensura-se o tamanho de cada área individualizada em unidades de referência estipuladas pelo usuário; 4) Consulta-se o tamanho dessas áreas e verifica se alguma atende ao valor mínimo almejado, em caso afirmativo, o processamento é interrompido, caso contrário, repete-se o processo com um novo valor limiar, notadamente inferior ao empregado na iteração anterior;

### 3.4. Extração de Feições Lineares a partir de Modelos Digitais de Adequabilidade

A determinação de feições lineares em ambiente SIG é geralmente obtida pela sequência de passos: 1) Especifica-se no mínimo um ponto (uma célula ou um pixel) como origem; 2) Gera-se uma superfície de atrito relacionada ao ponto de origem; 3) Processa-se a geração de uma superfície de custo a partir do ponto de origem e da imagem de atrito; 4) Determina-se no mínimo um ponto (célula ou pixel) de destino; 5) Aplica-se o algoritmo do menor caminho a partir da superfície de custo para o ponto de destino. Dessa forma, define-se um traçado em pontos distintos.

Com o intuito de aplicar propriamente o MDA para o traçado automatizado de feições lineares, uma operação de pré-processamento, especificamente entre os passos 1 e 2, se faz necessária, uma vez que para determinar uma rota a partir do MDA, o algoritmo deve procurar pelos maiores valores (de maior aptidão) para se obter o traçado ótimo. Porém, algoritmos de melhor caminho comumente disponíveis em SIG são caracterizados por procurarem em uma vizinhança, os menores valores numa superfície de custo. Por esse motivo, o MDA não pode ser diretamente aplicado para confecção da superfície de custo, uma vez que aos maiores valores serão atribuídos os maiores custos e, conseqüentemente, o pior caminho. O procedimento que resolve tal cenário consiste na operação de inversão dos valores do MDA, conforme é proposto na Equação (3).

$$IA = MDA^{-1} \quad (3)$$

Onde:  $IA$  significa a imagem de atrito.

Ao se utilizar a imagem de atrito ( $IA$ ) para produzir a superfície de custo, garante-se que a rota será determinada conforme o melhor (mais adequado) caminho.

## 4. ANÁLISE DE MCE APLICADA AO ESTUDO DE CASO

### 4.1. Área de estudo

Viçosa, situada na Zona da Mata Mineira, Minas Gerais, Brasil, tem uma população fixa estimada de 73 mil habitantes e outros 12 mil flutuantes. Abriga a Universidade Federal de Viçosa (UFV), além de outras 4 instituições de ensino superior particulares. Seu território tem aproximadamente 85% de região montanhosa, 12% ondulada e 3% plana. Os ventos predominantes tem a direção norte, conforme dados registrados pela estação meteorológica da UFV. A Figura 1 localiza o município nos mapas do Brasil e de Minas Gerais.



**Fig. 1 – Mapa de localização de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.** Fonte: PMV (2010)

Viçosa é circunvizinha a pequenos municípios, sendo mais expressiva econômica, social e culturalmente em relação a estes, o que a torna uma cidade pólo com forte influência na micro-região em que está inserida, pois apresenta o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) geral de 0,809 e educacional de 0,929 e taxa de alfabetização de 91,6%. Esses mesmos índices na sua microrregião são respectivamente: 0,693; 0,777 e 81,68%. O intenso trânsito de aproximadamente 85 mil pessoas e cerca de 30 mil veículos confere a Viçosa um estilo de vida diferente de cidades de mesmo porte na região. Resulta-se então, uma crescente demanda de deslocamentos de pessoas e de mercadorias com valor agregado médio a alto, entre Viçosa e outros pontos de igual importância, do Estado de Minas Gerais, do Brasil e até mesmo do exterior.

### 4.2. Base de Dados

A base de dados contou com mapas em escala de 1:50.000, composta dos temas: sistema viário (ferrovias, rodovias federais e estaduais, vias municipais e urbanas), rede hidrográfica, divisão político-administrativa do Município de Viçosa, limites do Campus da Universidade Federal de Viçosa, carta-imagem de uso do solo e cobertura vegetal (2004) e Modelo Digital de Elevação (MDE) pré-processado para efeito de correção de depressões espúrias. Para análise regional, primeiramente foram realizadas consultas às cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - Folhas SF-23-X-B-V-3 e SF-23-X-B-V-1), na escala de 1:50.000, denominadas de Viçosa e Teixeira, para uma primeira análise espacial do município em foco, buscando-se informações sobre seu relevo, hidrografia e a existência ou não de platôs naturais, facilitadores da solução ao problema proposto. Visualmente foram identificadas quatro possíveis regiões, dentro do município

de Viçosa, com características adequadas para abrigarem um empreendimento aeroportuário e, através da análise por Avaliação Multi-Critérios investigou-se se a modelagem espacial corroboraria com a interpretação visual.

Durante a preparação dos dados, os temas vetoriais foram convertidos em matriciais respeitando-se as dimensões dos mapas de cobertura vegetal e uso do solo e MDE, com pixel de 10 metros de resolução espacial. Uma vez no formato matricial, geraram-se mapas de distribuição espacial de distância Euclidiana a partir da rede hidrográfica, do sistema viário e dos limites do Campus da UFV, até a delimitação do contorno municipal. A partir do MDE determinou-se a Carta de Declividades (utilizada na análise urbana), com valores expressos em porcentagem.

### 4.3. Recursos de Software

Os softwares empregados neste trabalho foram os SIG: Idrisi e ArcGIS. Enquanto o ArcGIS dispõe de modelo de dados vetorial e matricial, o Idrisi privilegia análises matriciais. Devido a tais características, operações de preparação (interpolação das curvas de nível, transformação de sistemas, edição vetorial, entre outras) e pré-processamento (correção das depressões espúrias no MDE, integridade de escoamento da rede hidrográfica) da base de dados foram realizadas no ArcGIS enquanto que a análise MCE foi efetivamente processada no Idrisi.

### 4.4. Análises aplicadas ao transporte e trânsito (MCE1) e à expansão urbana (MCE2)

Desenvolveram-se duas análises Multi-Critérios. A primeira análise (MCE1) com o objetivo de se propor melhorias no transporte e trânsito de Viçosa. Para tal, apresentou-se uma alternativa de intervenção estrutural, a implantação de um anel viário. A segunda análise (MCE2), aliada à primeira, com o objetivo de se encontrar um conjunto de áreas aptas à expansão urbana (AEU), subsidiando o planejamento da ocupação racional do solo no entorno do anel viário proposto inicialmente.

Estabeleceram-se os critérios fatores e restrições para as condições de uso e ocupação do solo, conforme legislação vigente no município. Os critérios restritivos considerados para os diferentes temas estão na Tabela 1.

**Tabela 1: Critérios restritivos adotados nas análises de MCE1 e MCE2**

<b>MCE1: Anel Viário - Transporte e Trânsito</b>	<b>MCE2: Áreas para Expansão Urbana (AEU)</b>
Limite do Município	Limite do Município
Área urbanizada	Área urbanizada
-	Áreas de mata
-	Áreas de preservação permanente ( <i>buffer</i> de 30m da hidrografia)
-	Declividades > 30%
-	Sistema viário

As imagens dos critérios fatores para os dados do tipo contínuos referentes às MCE1 e MCE2 foram padronizadas com funções apropriadas a cada tema, para a escala de valores de 0 a 255, cujos parâmetros (funções de padronização e pontos de controle) estão na Tabela 2.

**Tabela 2: Temas de critérios fatores com suas funções de padronização *fuzzy* e valores assinalados aos respectivos pontos de controle, para as análises MCE1 e MCE2**

Temas contínuos com valores padronizados para o intervalo de 0 a 255										
Temas	Função <i>fuzzy</i>	MCE1				Função <i>fuzzy</i>	MCE2			
		Valores dos Pontos de Controle		de			Valores dos Pontos de controle		de	
		A	B	C	D		A	B	C	D
Vias Federais e Estaduais (m)	SMD	-	-	0	5.000	SMD	-	-	0	Vmax
Vias municipais (m)	SMD	-	-	0	500	-	-	-	-	-
Declividade (%)	SMD	-	-	0	15	SMD	-	-	0	30,00
Vias urbanas (m)	SSIM	200	300	1.000	5.000	SMD	-	-	0	Vmax
Ferrovias (m)	SMD	-	-	300	Vmax	SMD	-	-	0	Vmax
Hidrografia (m)	SMC	30	150	-	-	SMD	-	-	0	Vmax
Limite Campus UFV (m)	-	-	-	-	-	SMC	0	Vmax	-	-
Distância anel (m)	-	-	-	-	-	SMD	-	-	0	Vmax

Legenda:  
 SMD: Função Sigmoidal Monotônica Decrescente;  
 SMC: Função Sigmoidal Monotônica Crescente.  
 SSIM: Função Sigmoidal Simétrica  
 VMax: Valor máximo encontrado na carta de distância Euclidiana (em metros)

Para os dados do tipo categóricos, as imagens dos critérios fatores referentes às análises Multi-Critérios MCE1 e MCE2, foram normalizadas para a escala de valores de 0 a 255 (Tabela 3) através da reclassificação de suas categorias.

**Tabela 3: Temas de critérios fatores e valores assumidos para os dados categóricos referentes aos cenários das análises MCE1 e MCE2**

Dados categóricos com valores padronizados para o intervalo de 0 a 255			
Tema uso do solo e cobertura vegetal	Cenários		
	MCE1	MCE2	
Área urbana	0	0	
Agricultura	160	150	
Capoeira	210	100	
Lagoa	0	0	
Mata densa	5	0	
Nuvem	190	0	
Pastagem	230	210	
Solo exposto	255	255	

Após a padronização dos critérios, os mesmos foram comparados por meio do Processo Analítico de Hierarquização para a obtenção dos pesos, conhecido também como método de comparação par a par. Os pesos obtidos para os critérios fatores empregados em cada análise (MCE1 e MCE2) são mostrados na Tabela 4. O nível de consistência avaliado foi de 0,08. A finalidade principal da primeira análise (MCE1) foi gerar um modelo digital de superfície de custo para o traçado de um anel viário. Empregou-se, pois, a imagem gerada a partir da análise multivariada como superfície de atrito na obtenção da imagem de custo-distância. O traçado aproximado do anel viário foi então realizado pelo algoritmo do melhor caminho sobre a imagem de custo-distância entre pontos estratégicos (entroncamentos viários quase equidistantes) no entorno da área urbana de Viçosa.

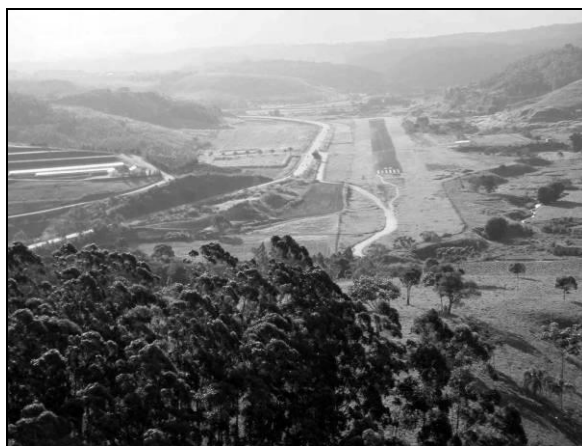
**Tabela 4: Critérios fatores aplicados às análises MCE1 e MCE2 com seus respectivos pesos determinados pelo Processo Analítico de Hierarquização.**

Critérios-Fatores	Pesos	
	MCE1	MCE2
Uso do solo e cobertura vegetal	0,1193	0,0977
Vias federais e estaduais	0,2107	0,1600
Vias municipais	0,1892	-
Declividade	0,1734	0,1534
Vias urbanas	0,1507	0,1832
Ferrovias	0,0910	0,0543
Hidrografia	0,0657	0,0711
Limite Campus UFV	-	0,1164
Distância do anel viário proposto	-	0,1639

Em seguida, procedeu-se uma nova análise (MCE2) para identificar unidades territoriais (AEU) favoráveis ao planejamento da ocupação no entorno do anel de maneira racional e economicamente viável.

#### 4.5. Análise aplicada à mobilidade e acessibilidade ao transporte aéreo (MCE3).

Quanto à mobilidade regional e acessibilidade ao transporte aéreo, foi proposta a implantação de um sítio aeroportuário. O atual “aeroporto de Viçosa” é um Aeródromo Privado, segundo a legislação vigente (Portaria 1.141/GM5), em Brasil-MAER (1987), cuja característica seria a operação da aviação privada, não atendendo à aviação regular regional. Localizado nos limites do Campus da UFV, portanto em área privada, encontra-se sem condições adequadas para as operações aéreas, segundo o Relatório de Inspeção do III Comando Aéreo Regional – III COMAR, realizada no período de 25 a 28/07/2005. A situação do aeródromo atual é exibida na Figura 2.



**Fig. 2 – Vista geral do aeródromo localizado no Campus da UFV - Viçosa, MG**

O ideal é que as áreas destinadas ao Sítio Aeroportuário de Viçosa tenham a forma mais retangular possível, com dimensões mínimas de 2.000 x 200 metros (40 hectares), em platôs localizados em altitudes maiores. Diante da dificuldade de se encontrar áreas ideais (forma, altitude e dimensões citadas), espera-se da análise de MCE3 a indicação de um ou mais locais com a maior adequabilidade possível e com uma área mínima de 100 hectares, para nesta, destacar-se o empreendimento desejado. As áreas para sítios aeroportuários devem se localizar o mais longe possível de lixões e/ou de aterros sanitários, por serem

favoráveis à presença de aves, e da área urbana mais povoada, devido aos ruídos provocados pelas aeronaves em operação. Devem ainda se localizar em regiões com a menor declividade possível, em altitudes que evitem obstáculos naturais aos vôos e que possibilitem boa segurança ao tráfego aéreo e principalmente às operações de pouso e decolagem. As questões ambientais devem ser consideradas. A existência de sistema viário, com rodovias federais e /ou estaduais pavimentadas, permite e facilita o acesso diminuindo os custos complementares à implantação do empreendimento aeroportuário.

Os critérios adotados, restrições e fatores, foram estabelecidos a partir da legislação vigente: da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC); da Aeronáutica – Ministério da Defesa do Governo de Minas Gerais; do Programa Aeroportuário (PROAERO) da Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais (SETOP-MG); e do Plano Diretor do Município de Viçosa. Sobre as restrições consideradas em respeito à legislação pertinente, adotou-se como critérios restritivos as distâncias em relação a:

- Área Urbana (buffer de 2000m)
- Aterro Sanitário (buffer de 3000m )
- Hidrografia (buffer de 30m)
- Lagoas (buffer de 100 m)
- Limite do município

Sobre os fatores utilizados, adotou-se a seguinte hierarquia de prioridades com os respectivos pesos obtidos da Análise Hierárquica de Decisão (AHP), para a qual se obteve a consistência de 0,06: 1. Altimetria (0,2735) ; 2. Direção dos ventos predominantes (0,2549); 3. Declividade (0,1305); 4. Distância de Rodovias (0,1204); 5. Uso do solo (0,0698); 6. Distância de Lixão ou Aterro sanitário (0,0515); 7. Distância de Área urbana (0,0515); 8. Distância de Distrito Industrial (0,0272) e 9. Tipo do solo (0,0207).

As análises de MCE foram realizadas considerando diferentes escalas de valores, de modo que MCE 1 e MCE 2 apresentam adequabilidade de 0 (mínima) até 255 (máxima) e, MCE 3 apresenta valores de adequabilidade no intervalo de 0 (mínima) a 1 (máxima) devido à necessidade de determinar uma função *fuzzy* com valores definidos pelo usuário, empregada para modelar a direção do vento. No software utilizado, os valores para os pontos de controle das funções *fuzzy* definidas pelo usuário admitem apenas valores no intervalo de 0 a 1 (Idrisi, 2006). Como imagens cujos valores pertencem ao conjunto dos números reais ocupam maior espaço computacional, optou-se por realizar apenas a análise de MCE3 nesse conjunto. Contudo, tal procedimento não prejudica a análise, lógica de raciocínio ou interpretação dos resultados. Difere apenas na escala de apresentação de valores de adequabilidade.

Utilizou-se a técnica de análise MCE da Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average - OWA*), por permitir maior flexibilidade na análise estratégica de decisão, que combina a avaliação entre o risco que se assume na análise e a compensação entre os fatores utilizados.

Na aplicação da OWA, para os fatores 3 (Direções do Vento), 5 (Uso do solo) e 9 (Tipo de solo), adotaram-se mapas de categorias de adequabilidade, com valores definidos pelo usuário, de forma que os maiores valores representassem as maiores aptidões e os menores valores, as menores aptidões, conforme pode ser verificado na Tabela 5.



**Tabela 5. Valores de adequabilidade definidos pelo usuário**

Direções do vento por função <i>fuzzy</i>		Categorias de uso do solo		Categorias de solos	
Azimute	Adequabilidade	Classe	Adequabilidade	Classe	Adequabilidade
0 = Norte	1.00	Solo Exposto	1.00	Cambissolo	0.47
30	0.90	Capoeira	0.86	Latossolo	1.00
45	0.60	Pastagem	0.75	Litossolo	0.24
46	0.00	Mata densa	0.51	Podzólico	0.78
134	0.00	Agricultura	0.12	-	-
		Lagoa, Área			
135	0.60	Urbana e Nuvem	0.00	-	-
165	0.90	-	-	-	-
180	1.00	-	-	-	-
210	0.90	-	-	-	-
225	0.60	-	-	-	-
226	0.00	-	-	-	-
314	0.00	-	-	-	-
315	0.60	-	-	-	-
330	0.90	-	-	-	-
360	1.00	-	-	-	-

Os demais fatores foram abordados como dados de valores contínuos, através de funções de transformação *fuzzy*, nas quais se definem os pontos de controle diretamente relacionados com os requisitos adequados, conforme valores mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6: Temas de critérios fatores e suas funções de transformação *fuzzy* com os valores dos respectivos pontos de controle empregados na análise MCE3.**

Fatores contínuos com valores padronizados para o intervalo de 0 a 255					
Fatores	Função <i>fuzzy</i>	Valores (em metros) dos pontos de controle das funções <i>fuzzy</i>			
		A	B	C	D
1. Altitude	SSIM	590	740	840	990
3. Declividade	SMD	-	-	20	40
4. Rodovias	SSIM	0	300	2.500	5.000
6. Aterro sanitário	SMC	3.000	5.000	-	-
7. Área urbana	SSIM	2.000	3.000	10.000	15.000
8. Distrito Industrial	SMC	300	2.000	-	-

Legenda: idem Tabela 2.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Resultados Obtidos

A aplicação efetiva do procedimento de MCE preconiza a verificação dos parâmetros que direcionam a subjetividade da análise através das medidas de Risco e Compensação. Desse modo, foram compostos e previamente avaliados, alguns cenários dentre os quais escolheram-se os que apresentavam menor Risco e maior Compensação.

A imagem de atrito resultante da análise MCE1, para localização do anel viário, foi gerada sem a avaliação prévia de cenários, pois empregou-se a técnica que assume ponderação equidistribuída para cada fator, a qual conduz a valores de Risco médio (valor igual a 0.5)

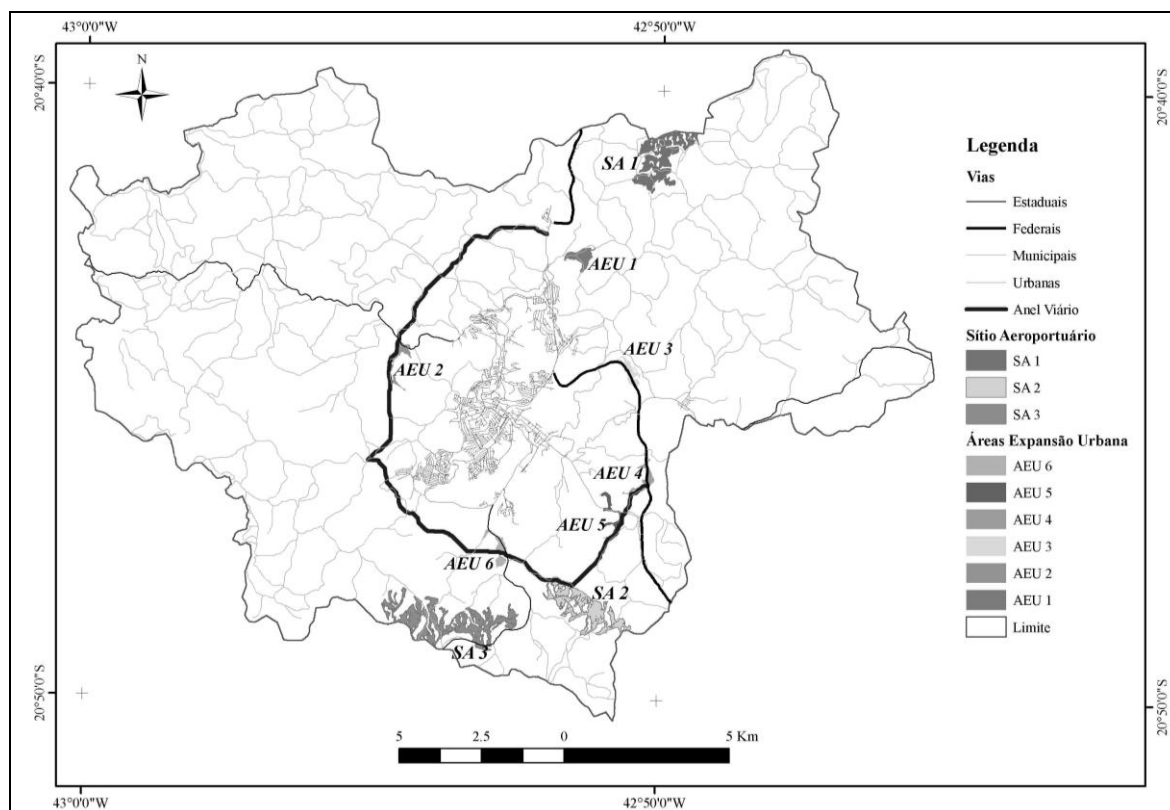
e Compensação total (valor igual a 1.0). As regiões aptas identificadas se encontram representadas em um MDA que, submetido à Equação (3) permitiu viabilizar a superfície de atrito utilizada pelo método apresentado para extração de feições lineares do traçado automatizado do referido anel.

Em relação às análises MCE2 e MCE3, na Tabela 7 são apresentados os valores de Risco e Compensação avaliados para três cenários candidatos (A, B e C) associados a cada análise, com destaque em negrito para aqueles de melhor desempenho. Observa-se que a melhor relação entre os parâmetros Risco e Compensação foi obtida com os cenários C e B, respectivamente, para a MCE2 – áreas aptas à expansão urbana e para a MCE3 – áreas aptas para sítio aeroportuário.

**Tabela 7: Parâmetros de avaliação (Risco e Compensação) referentes aos cenários candidatos das análises MCE2 e MCE3**

Parâmetros	Cenários Candidatos					
	MCE2			MCE3		
	A	B	C	A	B	C
Risco	0.44	0.40	<b>0.42</b>	0.47	<b>0.35</b>	0.56
Compensação	0.92	0.84	<b>0.90</b>	0,71	<b>0.86</b>	0.91

Os resultados obtidos a partir das análises MCE 1, 2 e 3 forneceram três MDAs, que foram submetidos a operações de extração de características poligonais e lineares. Seus elementos cartográficos produzidos estão apresentados na ilustração da Figura 3, onde se observa o traçado do anel viário, as seis AEU's e as três SAs.



**Fig. 3 - Mapa contendo os resultados das análises de MCE1, MCE2 e MCE3 aplicadas no estudo de caso no município de Viçosa, MG, Brasil.**

Após a realização da análise MCE2, cenário C da Tabela 7, foram identificadas seis áreas determinadas através do método de extração de feições poligonais, consideradas Aptas à Expansão Urbana (AEU) no entorno do anel viário obtido pela análise MCE1.

Ao se utilizar a imagem gerada a partir do Cenário B (Tabela 7) e aplicar o método para extração de feições poligonais para selecionar locais aptos a receber um Sítio Aeroportuário (SA), foram obtidas três áreas acima de 100 hectares, com valores de adequabilidade acima de 235, numa escala que varia de 0 a 255.

## 5.2. Discussões e recomendações

De acordo com as seis áreas (AEU) identificadas na análise e apresentadas na Figura 3, recomenda-se como sugestões às suas ocupações:

- AEU2 como sendo propícia à expansão do distrito industrial do município, pela proximidade com a localização do aglomerado industrial atual;
- AEU3, situada a 2500 metros do centro urbano, às margens da rodovia federal, pode ser apropriada para a implantação de um terminal rodoviário de cargas e um terminal rodoviário de passageiros, a fim de limitar o acesso de tráfego de veículos de maior porte (ônibus intermunicipais e caminhões) no centro da área urbana do município.
- AEU1, AEU4, AEU5, AEU6 são áreas recomendadas às instalações comerciais (shoppings) e residenciais (condomínios e residências), com vistas à criação de novas centralidades e à ocupação horizontal, favorecendo o planejamento do crescimento do município.

Cabe ressaltar algumas características em relação aos locais candidatos à implantação de um sítio aeroportuário:

- SA1: tem 118 hectares, está localizada a aproximadamente 9 km do aterro sanitário e a 2 km da principal rodovia federal que serve o município, com orientação média de 30° NE, se aproximando à direção dos ventos predominantes na região;
- SA2: tem 119 hectares, está situada a 7 km do aterro sanitário, com orientação média acima de 45° NW;
- SA3: tem 202 hectares, distanciada a 6 km do aterro sanitário, orientada predominantemente de leste para oeste.

Diante das características verificadas, a área SA1 se destaca para a implantação do Sítio Aeroportuário de Viçosa.

## 6. CONCLUSÕES

O método de extração de feições a partir de Modelos Digitais de Adequabilidade se mostrou eficiente e adequado na etapa de consolidação dos resultados provenientes de uma análise por Avaliação Multi-Critérios, por maximizar seu desempenho.

A utilização de análises espaciais integradas mostrou-se eficiente nas aplicações voltadas ao planejamento e gestão territorial no âmbito do processo de tomada de decisões complexas, auxiliando a administração pública no parcelamento e racionalização dos usos múltiplos do solo.

Conclui-se que a metodologia para extração de feições a partir de Modelos Digitais de Adequabilidade permitiu obter o traçado do anel viário, as áreas destinadas à expansão urbana e ao sítio aeroportuário de forma integrada, otimizando o processo de planejamento da expansão e mobilidade urbanas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becker, M. Vieira; C. A. O.; Liu, W. T. H.; Assis, L. C.; Soares, E. G. S.; Lopes, L. J; Silva, R. N. F.; Machado, K. J e Vilela, T. A, 2009. Identificação de zonas prioritárias para a conservação considerando os recursos hídricos na região da bacia hidrográfica do Alto Paraguai, **In: Anais do 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Corumbá-MS, pp 372-382.

Brasil - MT/MD – CENTRAN, 2007. **Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT** - Brasília DF, Abril de 2007.

Brasil-MAER, 1987. **Portaria Nº 1.141/GM5, de 08 de dezembro de 1987**. Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências. Brasília, 1987.

Calijuri, M. L.; Melo, A. L. O.; Lorentz, J. F. (2002). Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Revista de Informática Pública**. Vol. 4. p.231-350.

Clark Labs. **Idrisi Andes edition**. Worchester, 2006. Clark University. Programa de computador: 1 CD-ROM.

Eastman, J. R., 2003. **Idrisi Kilimanjaro guide for GIS and image processing**. Worcester, MA. Clark Labs, Clark University, 306 p.

Ramos, R. A. R., 2000. "**Localização industrial: um modelo espacial para o noroeste de Portugal**". Braga, Portugal. Universidade do Minho. Tese (doutorado), 299 p.

Saaty, T. L. (1980). **The analytic hierarchy process**. McGraw-Hill. New York.

Soares, M.E.S., Ramos, R.A.R., Mendes, J.F.G, 2004. **Planejamento do uso do solo em ambiente SIG: aplicação à localização industrial**. "Contribuições para o desenvolvimento sustentável em cidades Portuguesas e Brasileiras". Coimbra : Livraria Almedina, 2004. ISBN 972-40-2346-X. p. 190-210. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/2290>>. Acesso em: 02 de Abril de 2010.

Silva, A.J.P.A., Assis, L.C., Calijuri,M.L.. 2009. Aplicação de análise multicritério no planejamento da macroacessibilidade e da mobilidade regional, **In Anais do 17º Congresso Brasileiro de Transporte Público da ANTP**, Curitiba, PR.