

# APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS AO AGROECOSSISTEMA CAFEIEIRO EM ESCALA MUNICIPAL

Marco Aurélio BARROS<sup>1</sup>; Maurício Alves MOREIRA<sup>1</sup>; Bernardo Friedrich Theodor RUDORFF<sup>1</sup>; Marcos ADAMI<sup>1</sup>,  
E-mail: adami@dsr.inpe.br

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 12245970 São José dos Campos SP

## Resumo:

O aumento da produção agrícola mundial vem provocando uma crescente preocupação com a salubridade alimentar e a conservação dos recursos naturais do planeta. Neste sentido, o processo analítico hierárquico (AHP) tem sido utilizado em trabalhos relacionados à agricultura e gestão de recursos naturais. Com o objetivo de delimitar áreas favoráveis ou não à cafeicultura, realizou-se a aplicação do método AHP em uma área piloto de Minas Gerais respeitando o conceito de agroecossistema. Com base em premissas de favorabilidade à cafeicultura citadas em literatura e pesos calculados hierarquicamente para cada uma das variáveis, obteve-se uma função de ponderação de modo a combinar em um único mapa as áreas mais ou menos favoráveis ao agroecossistema local. A partir do método proposto por SAATY (1986) realizou-se a ponderação das variáveis temáticas em um mapa final representado em nível de cinza. A partir da representação numérica do modelo, obteve-se um conceito de favorabilidade médio para cada município, representado por um valor médio em relação às áreas com cafeicultura, em que 0 e 1 correspondem respectivamente à pior e melhor situação possível à instalação da cultura. Constatou-se que não houve diferença significativa em relação às condições de favorabilidade do agroecossistema cafeeiro para os municípios estudados.

Palavras-Chave: café, geotecnologias, modelagem, agroecossistema;

## Abstract:

The increase in world agricultural production is causing a growing concern to food health and natural resources protection of the planet. In this sense, the hierarchical analytical process (AHP) has been used in studies related to agriculture and to the management of natural resources. In order to define favorable and unfavorable areas to coffee crop production, respecting the agro ecosystem concept, the AHP method was applied in a pilot area in Minas Gerais State. Based on the favorability premise to coffee crop production obtained from the literature and the hierarchically calculated weights for each of the considered variables, a pondered function was obtained in order to combine, in a single map, the more or less favorable areas to the local agro ecosystem. From the proposed method by SAATY (1986) pondering of the thematic variables was performed in a final map represented by gray levels. From the numerical representation of the model, a medium grade of favorability was obtained for each municipality, represented by a medium value with regard to the coffee crop areas, in which 0 and 1 correspond, respectively, to the worst and best possible condition to cultivate coffee crop. No significant difference was observed, with regard to the favorability conditions of the coffee crop agro ecosystem, among the analyzed municipalities

Key-words: coffee, geotechnologies, modeling, agroecosystem,.

## Introdução

O aumento da produção agrícola mundial vem provocando uma crescente preocupação com a salubridade alimentar e a conservação dos recursos naturais do planeta. Nesse sentido, têm-se buscado formas e métodos para modelar o meio físico e com isso prever situações adversas nas quais o meio ambiente pode estar exposto. A ciência da geoinformação vem corroborar na convergência de diversas áreas do conhecimento, como geografia, agronomia e informática para o diagnóstico e solução dos problemas enfrentados pelo homem como também na simulação de cenários a partir de determinadas variáveis ambientais (CÂMARA et al., 2007). O processo analítico hierárquico ou AHP, desenvolvido por SAATY (1986) é uma técnica de tomada de decisão com múltiplos critérios em que um problema complexo possui uma hierarquia de solução a partir das variáveis utilizadas nesta solução (ALPHONCE, 1997). Este método tem sido amplamente utilizado em trabalhos relacionados à agricultura e gestão de recursos naturais (GUO et al., 1999; THIRUMALAIVASAN et al., 2003; ZHANG et al., 2004; LI et al., 2005; KARAMI, 2006). No presente estudo, aplicou-se o método AHP para determinar regiões favoráveis à cafeicultura, respeitando o conceito de agroecossistema descrito por ODUM (1988). O objetivo do trabalho é obter um mapa de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro dos municípios em estudo e fornecer um método para a realização de estudos na mesma temática.

## Materiais e Métodos

A área de estudo compreende quatro municípios do estado de Minas Gerais: Aguanil, Boa Esperança, Campo Belo e Cristais, localizados no sudoeste do estado de Minas Gerais ocupando uma área total de 2.253 km<sup>2</sup>. Foram utilizados os limites

municipais do estado de Minas Gerais (PRODEMGE, 2001), cartas topográficas do IBGE (IBGE, 2005), mapa de solos na escala 1:250.000 (MA, 1965), mapa de cafeicultura na escala de 1:100.000 (BARROS, 2006) e dados SRTM (NASA, 2005) para a modelagem de terreno e cálculo de declividade e orientação de vertentes. Os aplicativos utilizados na modelagem e análise espacial foram o ENVI (ENVI, 2004) e SPRING (CÂMARA et al., 1996) respectivamente, e no cálculo dos pesos e estatísticas o Criterium Decision Plus (CRITERIUM, 2001) e Minitab (MINITAB, 2005) respectivamente.

As variáveis utilizadas na modelagem AHP (drenagem, áreas de preservação permanente, áreas com café) foram extraídas a partir das imagens dos sensores TM e CCD a bordo dos satélites Landsat e Cbers, respectivamente. As variáveis altimetria, declividade e orientação de vertentes foram extraídas da grade altimétrica SRTM conforme BARROS (2006). A Figura 1 ilustra as etapas necessárias à obtenção do mapa geoambiental de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro. As etapas de mapeamento da cafeicultura e processamento da grade altimétrica SRTM foram realizadas nas fases 1, 2 e 3 do trabalho. A partir das variáveis obtidas, foi possível a parametrização do espaço geográfico com vistas a obter um mapa geoambiental com a integração das variáveis segundo um critério hierárquico para a tomada de decisão. Para a aplicação da AHP, foi estabelecida uma estrutura hierárquica entre as variáveis na qual o valor de dominância para um dado nível hierárquico é propagado para o nível inferior.

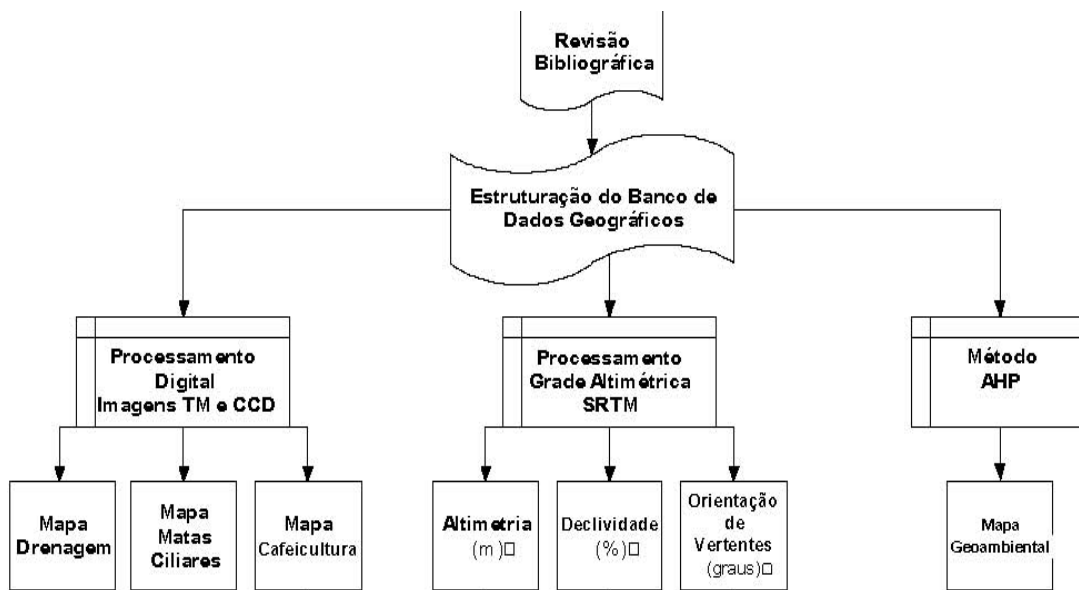


Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho.

A Figura 2 ilustra o processo de formulação da estrutura hierárquica em função do problema e variáveis utilizadas no processo de modelagem, estruturados em ambiente do aplicativo Criterium Decision Plus (CRITERIUM, 2001).

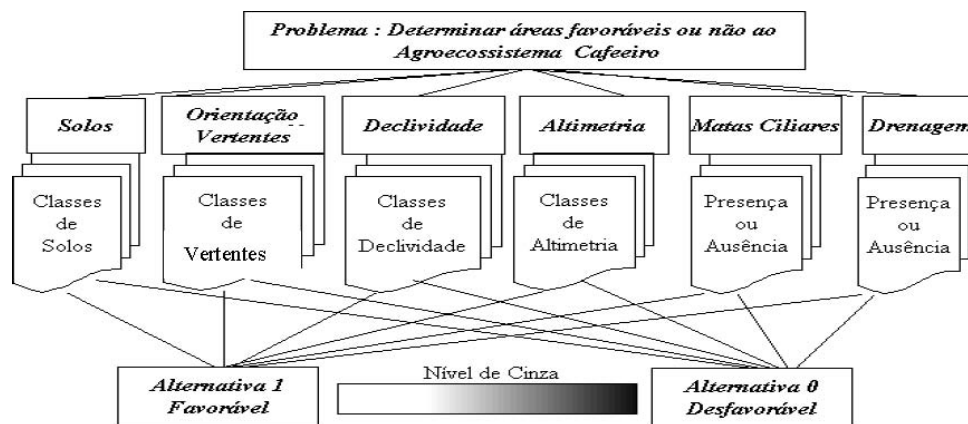


Figura 2 – Estrutura Hierárquica da AHP.

Para solucionar o problema apresentado na Figura 2, parte-se da hipótese de que o modelo AHP permite, a partir de variáveis fisiográficas e ambientais, construir um cenário de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro nos quatro municípios estudados. Os critérios são as variáveis utilizadas no modelo ponderadas de acordo com suas características agrônômicas em

relação às melhores condições à cafeicultura. Para cada um dos critérios utilizados (variáveis), estuda-se cada alternativa designando valores e pesos às classes de cada variável. Depois de estruturados os critérios e as alternativas, são realizadas comparações pareadas, buscando identificar qual é cada alternativa em relação às demais. Os critérios para definição das condições agrônomicas propícias ao cultivo do café foram citados por MATIELLO (1991) e SEDIYAMA et al. (2001). Com esses critérios foi possível realizar os julgamentos para a definição dos pesos utilizados na ponderação de cada variável, em função de sua importância para o cultivo de cafezais. Neste cenário, quanto mais próximo ao valor 0 piores as condições de instalação de cafezais e quanto mais próximo de 1, maior a favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro.

Para a definição da hierarquia entre as variáveis, optou-se em primeiro lugar pela drenagem e matas ciliares, devido à restrição legal a qualquer tipo de exploração e ocupação destas áreas (BRASIL, 1965). A segunda variável foi representada pelo mapa de solos, cuja importância não foi maior devido à escala de representação cartográfica do mapa digitalizado (1:250.000). Os parâmetros de fertilidade foram qualificados segundo análises químicas realizadas por MA (1962). A terceira variável na hierarquia de ponderação foi a declividade, cuja representação foi obtida em cálculos derivativos a partir da grade altimétrica SRTM (NASA, 2005). A declividade está associada diretamente ao tipo de manejo da cultura, relacionada principalmente à mecanização das lavouras cafeeiras e conservação de solo. As variáveis altimetria e orientação de vertentes obtidas a partir de dados de sensoriamento remoto são importantes pois estão indiretamente ligadas às condições climáticas de instalação das lavouras cafeeiras e à maior exposição da cultura em relação aos fenômenos climáticos adversos. As premissas de favorabilidade para cada uma das variáveis foram obtidas em literatura e assim descritas:

a) Drenagem + matas ciliares: proibida a exploração agropecuária sem outorga do órgão estadual ou federal competente (Brasil, 1965). Onde há drenagem ou área sob preservação permanente considerou-se o espaço geográfico correspondente como desfavorável ao agroecossistema cafeeiro. Esta variável, com base nos conceitos de ODUM (1988) foi considerada a mais importante no contexto da modelagem com peso calculado igual a 0,638.

b) Solos: solos com limitações físicas (profundidade efetiva e estrutura) não são recomendados à exploração agrícola (AMARAL et al., 2005). Portanto, foram considerados inaptos à cafeicultura os solos identificados como Cambissolos, Neossolos e Gleissolos. Os solos intermediários com limitações físicas e químicas foram os Argissolos e finalmente os solos de maior favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro foram os Latossolos e o peso atribuído foi 0,189.

c) Declividade: o critério de mecanização foi utilizado para a ponderação das classes de declividade. Foram consideradas as seguintes classes de declividade conforme ZAMBOLIM (2001): 015%, favorável a mecanização; 1620%: restrito a mecanização e acima de 20% impróprio à mecanização e o peso atribuído foi 0,155.

d) Orientação de Vertentes: no hemisfério sul percebe-se que vertentes a nordeste recebem maior radiação solar durante a manhã e vertentes a noroeste, maior radiação solar à tarde (ALZUGARAY e ALZUGARAY, 1984). Recomenda-se o plantio de cafezais em vertentes orientadas a norte, nordeste e noroeste, com restrições ao plantio em vertentes sul sudeste e sudoeste, sendo o peso igual a 0,07.

e) Altimetria: recomenda-se o plantio de cafezais em Minas Gerais em faixa de altimetria entre 500 m e 1200 m conforme Sedyama (2001) com peso igual a 0,034.

A estrutura de organização dos dados na AHP distribui as variáveis em diferentes níveis. As variáveis de maior importância transmitem sua maior influência para as variáveis menos importantes, em níveis hierárquicos mais baixos, que por sua vez contribuem também com a funcionalidade e coerência nos níveis superiores (ALPHONCE, 1997). SAATY (1986) fundamenta ainda que o processo analítico hierárquico baseia-se em três princípios: decomposição, julgamentos comparativos e síntese de prioridades. Os valores atribuídos aos critérios e alternativas na comparação pareada são referentes a uma escala de medida de valores de intensidade ou de importância relativa. Esses valores, que variam de 0 a 1, expressam a importância com a qual, um critério ou alternativa é mais importante que o outro. Com as variáveis mapeadas agrupadas, utilizou-se o modelo proposto por SAATY (1986), para definir o grau de importância de cada uma das variáveis fisiográficas e outras variáveis correspondentes a áreas com restrição à exploração agrícola, como as áreas de preservação permanente correspondente às matas ciliares nas margens do lago de Furnas e rios anteriormente mapeados, utilizando uma lógica de comparação pareada. As variáveis foram comparadas duas a duas, e um critério de importância relativa foi atribuído ao relacionamento entre estas variáveis, conforme a escala fornecida por ALPHONCE (1997) Seleccionadas as variáveis para comparação e estabelecida a importância relativa de cada uma, o modelo AHP informa uma razão de consistência, que deve ser menor do que 0,1 (ALPHONCE, 1997). Esta razão de consistência atesta a coerência nos julgamentos realizados entre as variáveis. Para a obtenção do modelo, constroem-se matrizes quadradas recíprocas positivas, cuja ordem será igual ao número de alternativas. Posteriormente, para cada critério ou sub-critério faz-se o mesmo, progressivamente na hierarquia. Essas comparações por pares fornecem pesos para cada alternativa dentro de cada critério ou sub-critério quando comparados entre si. Dá-se a obtenção desses pesos por meio do cálculo do autovetor principal de cada matriz quadrada. Ao final do processo, esses pesos compõem uma função de agregação aditiva, na qual, para cada alternativa específica, atribui-se um valor final que possibilita a

ordenação global de todas as alternativas. Com as variáveis organizadas e agrupadas, o modelo AHP foi alimentado para o cálculo dos pesos de cada uma das variáveis e finalmente o resultado foi especializado considerando o espaço geográfico de forma contínua. Como produto final, obteve-se uma grade numérica com intervalo entre 0 e 1. Quanto mais próximo da unidade, maior a favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro e vice-versa. A partir desse mapa, obteve-se um índice médio ponderado de favorabilidade em cada um dos municípios de acordo com o tamanho da sua área a partir da Equação 1. Na equação 1, X representa uma grade regular com os valores do modelo calculados entre 0 e 1.

$$X = ( * 034 , 0 \text{ altimetria} ) + ( * 155 , 0 \text{ declividade} ) + ( * 638 , 0 \text{ drenagem+app} ) + ( * 189 , 0 \text{ solos} ) + ( * 070 , 0 \text{ vertentes} ) \quad (1)$$

## Resultados e Discussão

Conforme a hipótese formulada para a representação das áreas favoráveis ao agroecossistema cafeeiro, obteve-se uma representação gráfica em nível de cinza para toda a região em estudo após a aplicação do modelo AHP. O método utilizado permitiu associar em um único mapa todas as variáveis mapeadas de uma forma contínua, sem particionamento do espaço geográfico como acontece nos métodos comumente utilizados em estudos de aptidão e zoneamento agrícola. Em média, Aguanil foi o município com o menor índice de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro. A semelhança dos valores médios encontrados em cada um dos municípios, pode ser associada ao maior peso de ponderação em relação às áreas de drenagem e matas ciliares. Constatou-se, portanto, que houve a penalização dos municípios com maior densidade de drenagem, como é o caso de Boa Esperança e Cristais. Os índices médios de favorabilidade obtidos a partir do mapa geoambiental estão disponíveis na Figura 3. Conforme a Figura 3, pode-se verificar que não há diferença significativa entre os municípios estudados em relação a favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro, considerando as premissas pré-estabelecidas. Aguanil apresentou o menor valor médio de favorabilidade, cerca de 58% da sua área total, contra 61% nos demais municípios. Constatou-se também que não há diferença significativa entre o índice de favorabilidade médio em áreas cultivadas com café mapeadas a partir de imagens TM e CCD. Em média, Boa Esperança possui suas lavouras cafeeiras com 72% das condições ideais de instalação, muito próximo do valor obtido em Cristais, de 71%. Já os municípios de Aguanil e Campo Belo possuem suas lavouras instaladas com 65% e 64%, respectivamente, com relação às premissas de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro.

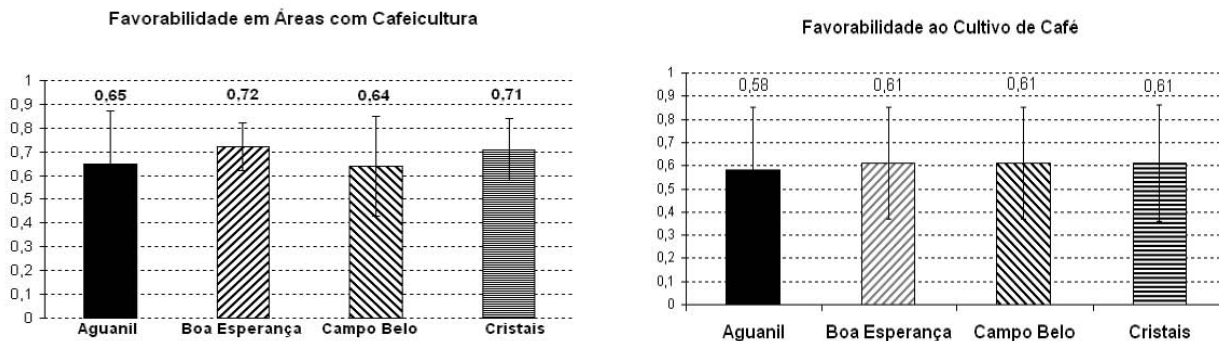


Figura 3 – Índice de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro em escala municipal e nas áreas atualmente cultivadas.

Áreas com solos limitantes, associados à alta declividade e altimetria acima de 2000 m indicam o predomínio do processo de morfogênese que induz naturalmente a processos erosivos. Neste caso, observa-se nível de cinza baixo principalmente na Serra da Boa Esperança, município de Boa Esperança (Figura 5). As áreas com maior favorabilidade, ou seja, com níveis de cinza mais altos, podem ser observadas no centro-sul do município de Boa Esperança e noroeste do município de Cristais. Em áreas de drenagem e preservação permanente próxima às divisas municipais pode-se verificar que são completamente desfavoráveis ao agroecossistema cafeeiro, devido à presença natural de água como também a necessidade

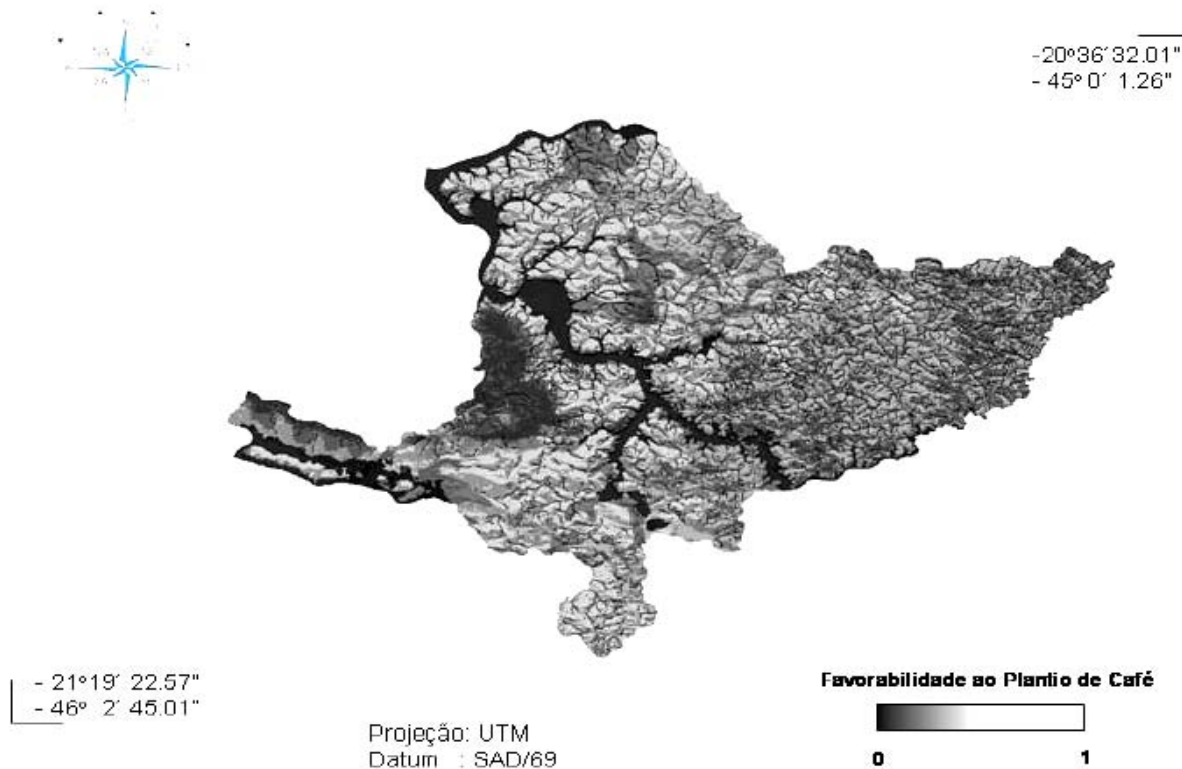


Figura 5 Mapa Geoambiental de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro (ACristais; BCampo Belo; CAguanil e DBoa Esperança).

O método analítico hierárquico ponderado (AHP) permitiu associar em um único produto final as variáveis que compõem o meio geográfico em estudo, a partir de uma hipótese de favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro embasada em literatura. A maior dificuldade em relação à execução do método diz respeito à determinação dos pesos das variáveis e também na determinação dos pesos individuais para cada uma das classes associadas às variáveis, problema comumente encontrado em outros trabalhos que utilizaram o modelo AHP relatados por THIRUMALAIIVASAN et al. (2003) e LI et al. (2005). Nesse sentido a utilização do programa Criterium Decision mostrou-se indispensável para o cálculo dos pesos. Em estudos regionais de maior complexidade o presente trabalho mostra a necessidade da criação de novos cenários de favorabilidade à cultura, com a utilização de outras variáveis no processo e a alteração nas hierarquias e pesos das variáveis utilizadas.

### Conclusões

Observou-se a partir das premissas de favorabilidade que o método de análise hierárquica ponderada permitiu determinar as áreas potencialmente favoráveis ao agroecossistema cafeeiro. Não houve diferença significativa entre os municípios com relação a favorabilidade ao agroecossistema cafeeiro. A utilização do aplicativo Criterium Decision Plus mostrou-se eficaz no cálculo dos pesos do modelo, e o aplicativo Spring mostrou-se eficaz na espacialização do mesmo.

### Referências Bibliográficas

ALPHONCE, C.B. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems*, v.53, n.1 p. 97112, jan. 1997.

ALZUGARAY, D.; ALZUGARAY, C. *Flora brasileira*. São PauloSP: Três Livros, 1984.

AMARAL, F.C.S; PEREIRA, N.R.; CARVALHO Junior, W. Principais limitações dos solos brasileiros. EMBRAPA Solos. 1999. Disponível em: <[www.cnps.embrapa.br/serch/pesqs/tema3/tema3.html](http://www.cnps.embrapa.br/serch/pesqs/tema3/tema3.html)>. Acesso em: 15 jul. 2005.

BARROS, M.A. Geotecnologias como contribuição ao estudo do Agroecossistema cafeeiro de Minas Gerais em nível municipal. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.157p.

BRASIL. Decreto-lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/legisla>. Acesso em: 18 jul. 2005.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers e Graphics*, v. 20, n.3, p. 395403, maio/junho 1996.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, M.; MEDEIROS, S.A. Introdução à Ciência da Geoinformação. Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap5\\_epistemologia.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap5_epistemologia.pdf)> Acesso: 16/01/2007

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (PRODEMGE). Limite dos Municípios de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998. Escala 1:100.000. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2005.

CRITERION decision plus 3.04. Seattle, InfoHarvest. 2001.

GUO, L.S.; HE, Y.S. Integrated multicriterial decision model: a case study for the allocation of Facilities in Chinese Agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.73, p.8, Jan. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) : Folha Campo Belo. SF-23-YD-II-1 MI 2769/1. Brasília, 2005. 3 Mapas. Escala 1:50.000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 mar. 2005.

KARAMI, E. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: the application of the AHP model. *Agricultural Systems*, v.87, p.101119, Jan. 2006.

LI, X.; MIN, M.; TAN, C. The functional assessment of agricultural ecosystems in Hubei Province, China. *Ecological Modelling*, v.187, n.23, p.352360, Mar. 2005.

MATIELLO, J.B. Café: do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (MA). Levantamento de Reconhecimento dos Solos da Região sob Influência do Reservatório de Furnas. Rio de Janeiro: MA, 1962. 462 p.

MINITAB. Minitab Statistical Tab. 2000. 1Cd Rom.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data product. California, 2005. 2 produtos. SRTM – S21W046 e S22W046. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataprelimdescriptions.html>>. Acesso em: 20 jan. 2005.

ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara, 1988. 434 p.

SAATY, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, v. 32, n.7, p. 841855, julho 1986.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, p.501509, 2001.

THE ENVIRONMENT FOR VISUALIZING IMAGES (ENVI) 4.1. Boulder, CO: Research Systems. 2004.

THIRUMALAIIVASAN, D.; KARMEGAM, M.; VENUGOPAL, K. AHPDrastic: software for specific aquifer vulnerability assessment using Drastic model and GIS. *Environmental Modelling & Software*, v.18, p.645656, Feb. 2003.

ZAMBOLIM, L. Tecnologia de produção de café com qualidade. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 648p.

ZHANG, B.; ZHANG, Y.; CHEN, D.; WHITE, R.E.; LI, Y. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*, v.123, p.319331, Mar. 2004.