

Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e de análise de multicritérios

Cláudia Weber Corseuil¹

Sérgio Campos²

1 Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/CTC
Caixa Postal 476 – 88040-900 – Florianópolis - SC, Brasil
cwcorseuil@hotmail.com

2 Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCA
Caixa Postal 237-18610-307 - Botucatu - SP, Brasil
seca@fca.unesp.br

Abstract: Geoprocessing techniques and multicriteria analysis have been applied to the urban and rural environmental planning in some studies. This study aimed to analyze the adequacy of land use for agricultural of a microbasin, through the method of multicriteria analysis with Geographic Information System (GIS). A digital cartographic base was used (1:50.000); the soil map of the microbasin in a semi-detailed scale and images from the Landsat 7 ETM+ satellite were used. The criteria used (restrictions to the agricultural exploration): permanent preservation areas, road net and the stream; and factors: land suitability for agriculture, soil declivity and vegetable use and coverage. For the multicriteria analysis the methods used were AHP (Analytical Hierarchy Process) and weighed linear combination (WLC), with GIS. With the results was concluded that the environment has good agricultural and environmental features due to, mainly, the ample land extension that is available for agricultural use, as well as the predominance of a flat to a moderated crisp relief.

Palavras-chave: environmental planning, geographic of Information system, weight linear combination, planejamento ambiental, sistema de informação geográfica, combinação linear ponderada.

1. Introdução

A análise de multicritérios tem sido empregada em diversos estudos relacionados ao planejamento ambiental como: definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos, análise de risco ambiental, análise de sensibilidade ambiental e planejamento de uso das terras (Malczewski, 2004; Eastman, 2003; Collins, Steiner e Rushman, 2001; Jiang e Eastman, 2000).

Malczewski (2004) coloca que a análise da adequação de uso da terra utilizando SIG, tem aplicação em diversas situações com viés ecológico como a determinação de habitat para espécies animais e vegetais; aptidão das terras para agricultura; avaliação e planejamento da paisagem; avaliação de impactos ambientais e planejamento regional. Para tanto, podem ser utilizadas três abordagens em ambiente de SIG, como: sobreposição de informações espaciais, inteligência artificial e método de avaliação por multicritérios. A análise de multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (Roy, 1996).

Assim, a integração entre os métodos de análise de multicritérios e os SIGs tem sido um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para a determinação da adequação de uso da terra, sendo entendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão.

Taglani (2003) empregou a análise de multicritérios em ambiente de SIG, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade de ambientes costeiros na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Como critérios utilizou a declividade, a capacidade de uso do solo, a vegetação, os recursos hídricos e a idade dos terrenos. Para a ponderação dos critérios foram

empregados o método AHP e a combinação linear ponderada. Segundo o autor, essa metodologia, integrada ao SIG, é amplamente flexível e permite a inclusão de dados complementares ou a reavaliação das informações temáticas e critérios, a partir do qual se pode chegar a um consenso e a tomada de decisão.

Weber e Hasenack (1999) empregaram a análise de múltiplos critérios em ambiente SIG para o zoneamento da qualidade das terras para fins de uso agrícola em propriedades rurais localizadas próximas à Hulha Negra-RS, visando contribuir para minimizar a subjetividade dos projetos de assentamentos rurais. Como critérios estabeleceram: a capacidade de uso do solo, o uso e cobertura do solo, a distância da rede de drenagem, a distância de rodovias e a declividade do terreno. Segundo os autores, a análise de multicritérios, por meio do método de combinação linear ponderada, permite a compensação entre os critérios, de forma que uma alta aptidão em relação à declividade pode compensar uma baixa aptidão de uso do solo no mesmo local. No cenário inverso, uma alta aptidão de uso do solo compensa uma baixa aptidão em relação à declividade. Neste caso, o grau com que cada critério impacta o resultado final é determinado pelo peso atribuído a cada um.

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a adequação de uso das terras quanto à aptidão agrícola, às características de relevo e de uso e ocupação de uma microbacia, por meio de análise de multicritérios em ambiente de SIG.

2. Material e métodos

O presente estudo foi realizado na microbacia do Arroio Ajuricaba, localizada no município de Marechal Cândido Rondon, na região do extremo oeste do Estado do Paraná. A microbacia ocupa uma área de aproximadamente 1.681,00 ha, correspondendo a 2,25% da área total do município (74.711,6 ha), e está situada entre as coordenadas UTM 787.309m E e 793.892m E; 7.275.026m N e 7.281.310m N do Fuso 21S. Esta microbacia localiza-se na bacia hidrográfica do Paraná III e integra a bacia do rio São Francisco Verdadeiro.

A região apresenta um relevo predominantemente suave-ondulado (45%), 30% ondulado, 15% plano e 10% forte ondulado. As principais classes de solos ocorrentes na região são os Nitossolos Vermelhos e os Neossolos (Marechal Cândido Rondon, 2005). O clima da região é do tipo subtropical úmido, mesotérmico, enquadrando-se de acordo com a classificação de Köppen no tipo Cfa. A temperatura média anual é de 21°C, sendo que a média mínima é de 15°C e a média máxima é de 28°C. A precipitação anual é de 1.500mm, bem distribuídas o ano todo, sendo que no trimestre de verão (dez/jan/fev) chega a 450 mm e no trimestre de inverno (jun/jul/ago) atinge em torno de 250 mm (IAPAR, 1978). A vegetação nativa da região é originária da Floresta Estacional Semidecidual. Com a expansão da agricultura esta foi drasticamente substituída por lavouras e pastagens e ocorre de forma isolada no interior das propriedades rurais e com poucas espécies características da floresta original, sendo a maior parte formações secundárias.

Para condução deste estudo foi utilizado como material: uma carta topográfica digital de Marechal Cândido Rondon (SG.21-XB-VI-2) em escala 1:50.000; um mapa de solos (**Figura 1**) elaborado em escala de semidetalhe (Souza, 2004), contendo nove classes de solos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999); uma imagem digital do satélite Landsat 7-ETM+ (passagem em 28/01/2000) correspondente a órbita/ponto 224/077; o aplicativo AutoCAD 2004 (para a edição dos dados vetoriais) e o SIG Idrisi Kilimanjaro 14.01 (para o ajustamento dos dados e para os procedimentos de análise de multicritérios). Para a análise da adequação de uso das terras da microbacia foram utilizados os seguintes dados: aptidão agrícola, uso da terra, declividade, áreas de preservação permanentes (APPs) e estradas. Esses dados foram obtidos a partir do material relacionado

acima e padronizados para o formato matricial, com mesmo número de linhas e colunas (resolução), para possibilitar o processo de combinação entre os multicritérios, no SIG.

A aptidão agrícola das terras foi determinada com base no mapeamento de solos da microbacia (Figura 1) e no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras proposto por Ramalho Filho e Beek (1995). Para área de estudo foram encontradas 6 classes de aptidão, conforme mostra a Figura 2.

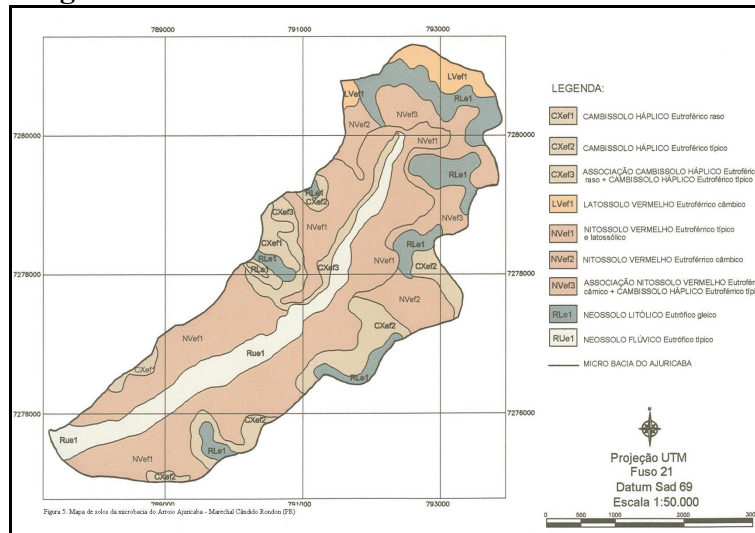


Figura 1. Mapa de solos.

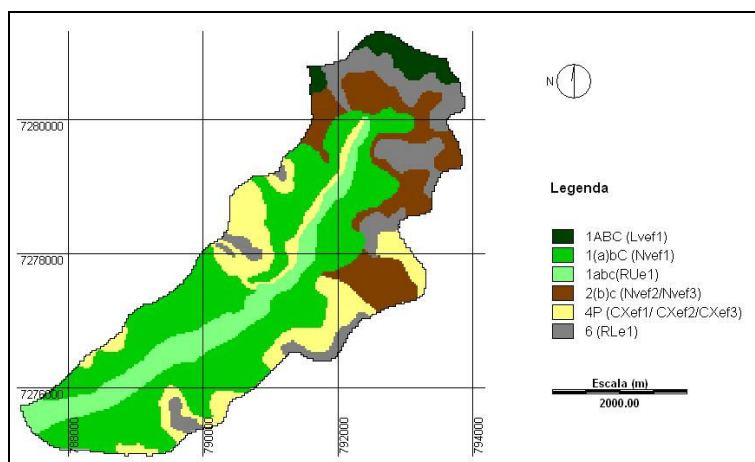


Figura 2. Mapa de aptidão agrícola das terras.

No mapeamento de uso da terra foi utilizado um recorte de cena da imagem Landsat 7-ETM+ georreferenciada. As bandas espectrais empregadas foram as referentes às faixas do vermelho visível, infravermelho próximo e infravermelho médio do espectro (3, 4 e 5), a partir das quais foi feita uma composição RGB-543, visando facilitar a interpretação visual da imagem e a tomada das amostras de treinamento, por meio de digitalização de polígonos em tela sobre as áreas representativas de cada classe de uso da terra. Neste estudo, foram definidas as seguintes classes: vegetação nativa, cultivo anual, solo exposto/plantio recente, pastagem, água e estradas. Após a obtenção das amostras, a etapa seguinte consistiu na classificação automática no SIG, empregando-se o algoritmo de máxima verossimilhança, com a opção de igual probabilidade de ocorrência para cada assinatura espectral e uma proporção de exclusão dos *pixels* de 0% classificando, desta forma, todos os *pixels* da imagem. O produto resultante desta classificação foi o mapa de uso da terra (Figura 3). Cabe salientar que, na imagem classificada as estradas algumas vezes aparecem misturadas com

outras classes (como áreas em período de preparo do solo para o plantio). Em função disso, esta classe foi obtida da base cartográfica digital e sobreposta na imagem classificada.

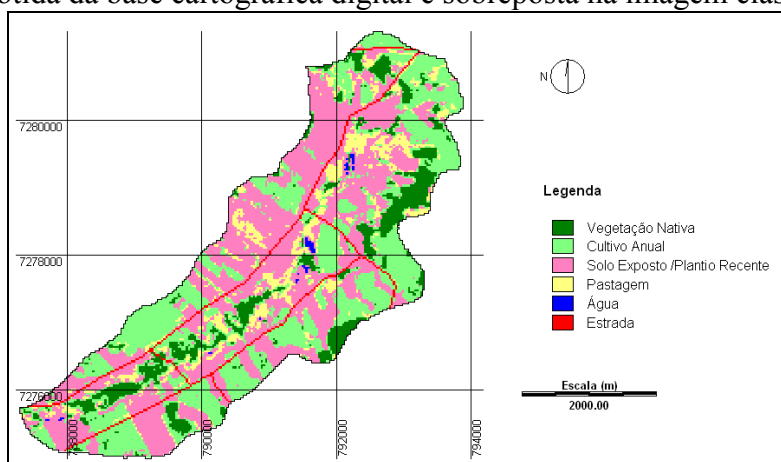


Figura 3. Classes de uso da terra.

Para a determinação da declividade, primeiramente foi gerado um modelo digital do terreno (MDT), por meio de uma interpolação matemática no SIG, com dados de altimetria (cotas) extraídos da base cartográfica digital, empregando-se a metodologia de redes de triangulação irregular. A partir do MDT foi possível extrair a declividade da microbacia em porcentagem. A próxima etapa consistiu na elaboração do mapa de declividade (**Figura 4**) com base nas classes de declive preconizadas por Ramalho Filho e Beek (1995), que estabelecem intervalos de acordo com o grau de limitação de uso da terra em função da suscetibilidade à erosão (0 a 3%; 3 a 8%; 8 a 13%; 13 a 20%; 20 a 45%; maior do que 45%).

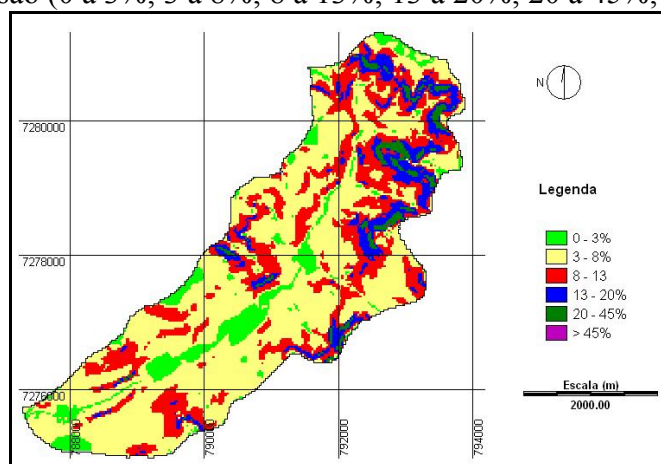


Figura 4. Classes de declividade.

Para este estudo foram identificados dois grupos de critérios: os que conferem uma restrição total à exploração agrícola das terras, independente do uso ou manejo do solo, e aqueles que apresentam graus de aptidão para o mesmo fim (denominados de fatores). Assim, foram consideradas como restrições: os corpos d'água, as áreas de preservação permanentes (APPs) e as estradas. Para a elaboração desses mapas foi utilizada uma escala *Booleana*, atribuindo-se o valor 0 para as restrições e 1 para os demais.

Os critérios referentes às APPs foram estabelecidos com base na resolução N°. 303 do CONAMA (2002) e na Lei Federal N°. 4.771 (BRASIL, 1965). De acordo com essa resolução, constituem áreas de preservação permanentes aquelas situadas em faixa marginal, medidas a partir do nível mais alto do rio, em projeção horizontal, com largura mínima de 30 m para o curso de água com menos de 10 m de largura, como é o caso da área em estudo. Desta forma, para a elaboração do mapa de APPs foi estabelecida uma zona de proteção de 30

m em torno da rede de drenagem, por meio do operador de distância disponível no SIG originando, assim, uma imagem *Booleana* (0 e 1). Os corpos d'água foram obtidos a partir da reclassificação do mapa de uso da terra, atribuindo-se o valor 0 para a classe água e 1 para as demais. As estradas foram consideradas áreas restritas para qualquer outra utilização, a não ser para o fim a que foram destinadas (como vias de transporte). Para a determinação dessa restrição atribuiu-se às estradas 0 e para o restante da imagem o valor 1. Com isso, foram geradas imagens de restrições com relação aos corpos d'água, às APPs e às estradas, possibilitando, desta forma, a exclusão dessas áreas no processo de avaliação da adequação de uso das terras.

Ao contrário das restrições, que apresentam os limites bem definidos (adequado ou inadequado), os mapas de fatores determinam superfícies contínuas, que representam uma variação gradual da adequação de uso das terras, com base numa escala crescente de valores que vai de 0 (menos adequado) a 255 (mais adequado). Neste estudo, foram considerados como fatores a aptidão agrícola, o uso da terra e a declividade. Para esses fatores foram estabelecidas 4 classes de adequação de uso: alta, média, baixa e restrita.

As classes com diferentes graus de aptidão para lavoura, ou seja, 1ABC, 1(a)BC e 1abc foram agrupadas numa única classe e receberam o valor de 255 (alta adequação de uso). Neste agrupamento não foram considerados os diferentes níveis de manejo necessários para que o solo possua aptidão agrícola, apenas se é possível realizar essa prática. Para a classe 2(b)c (aptidão regular para lavoura) foi estabelecido um valor de 170 (média). Já para a classe com aptidão para pastagem (4P) foi atribuído um valor de 85 (baixa). Por fim, para classe 6 (sem aptidão agrícola) foi dado um valor 0 (restrita).

Para o fator uso da terra utilizou-se como critério de avaliação o grau de proteção contra a erosão que cada tipo de cobertura vegetal (uso atual) proporciona ao solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Desta forma, foram estabelecidas classes de adequação de uso em função da maior ou menor proteção proporcionada às terras pela cobertura vegetal. Sendo assim, para as áreas cobertas por vegetação nativa, pastagem foram atribuídos os seguintes valores: 255 (alta) e 170 (média), respectivamente. As áreas com cultivo anual e solo exposto (recém plantado) foram agrupadas numa única classe e receberam o valor 85 (baixa adequação), por serem destinadas para o mesmo fim (cultivo anual).

Para o fator declividade utilizou-se como critério o intervalo de classes estabelecido no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, proposto por Ramalho Filho e Beek (1995). A partir dessas classes foi possível inferir que as declividades abaixo de 20% são as mais adequadas para a utilização agrícola, de 20% a 45% conferem uma baixa adequação por apresentarem dificuldades para o preparo do solo e para a mecanização. Já as declividades maiores que 45% são consideradas inadequadas para essa atividade, devendo ser destinadas para outros usos (exemplo: culturas permanentes, silvicultura e áreas de preservação). Com base nesses critérios foram estabelecidas as classes de adequação de uso conforme mostra a

Tabela 2.

Tabela 2. Intervalos de declividade, valores e classes de adequação de uso.

Classes de declividade (%)	Valores de adequação	Classes de adequação
0 a 13	255	Alta
13 a 20	170	Média
20 a 45	85	Baixa
> 45	0	Restrita

Após a padronização dos fatores, para a escala de 0 a 255, a próxima etapa consistiu em ponderar a influência de cada um no processo de avaliação da adequação de uso das terras.

A ponderação foi realizada utilizando-se uma matriz de comparação pareada, onde cada célula é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de critérios. A definição dos valores de importância entre os critérios determina os

dados de entrada na matriz e, a partir deles, são calculados os pesos ponderados dos fatores (autovetor da matriz) e a consistência do julgamento da matriz (máximo autovalor da matriz). Desta forma, foi construída uma matriz de comparação pareada no SIG utilizando-se como base uma escala contínua de 9 pontos que traduz a importância relativa entre eles: 1/9 (Extremamente), 1/7 (fortemente), 1/5 (forte); 1/3 (pouco); 1 (igual importância); 3 (pouco); 5(forte); 7 (fortemente); 9 (extremamente). Com base nesta escala, foi elaborada a matriz de pesos, conforme mostra a **Tabela 3**.

Tabela 3. Matriz de julgamento dos fatores.

Fatores	Uso da terra	Declividade	Aptidão agrícola
Uso da terra	1	1/3	1/7
Declividade	3	1	1/3
Aptidão agrícola	7	3	1

Depois de comparar os fatores, dois a dois, foram calculados os pesos para cada um, por meio do método AHP (*Analytical Hierarchy Process* - Processo de Análise Hierárquica). Esse procedimento foi realizado por meio do SIG, o qual apresenta uma estrutura similar ao método de Saaty (1980). Além dos pesos, o programa permite calcular a razão de consistência da matriz que, segundo Saaty e Vargas (1991) deve ser menor que 0,1. A razão de consistência (RC) indica a probabilidade que as avaliações da matriz foram geradas aleatoriamente. A última etapa consistiu na avaliação dos multicritérios, por meio do método de combinação linear ponderada e, na multiplicação desse resultado pelas restrições, excluindo, dessa forma, as áreas de restrição de uso.

3. Resultados e discussão

Os pesos, calculados a partir da matriz de julgamento, para os fatores: uso da terra, declividade e aptidão agrícola foram: 0,09; 0,24 e 0,67, respectivamente. A razão de consistência (RC) dos pesos encontrada para este estudo foi de 0,01, indicando que o julgamento apresentou consistência aceitável, ou seja, menor que 0,1 (10%). Analisando os resultados, observa-se que os fatores aptidão agrícola e declividade apresentaram pesos maiores (0,67 e 0,24) em relação ao uso da terra (0,09). Estes valores refletem aqueles apresentados na **Tabela 3**, que expressam a importância de cada critério no processo de avaliação da adequação de uso das terras.

Como resultado desta metodologia obteve-se uma imagem (**Figura 5**) que representa uma superfície contínua de adequação uso agrícola das terras, com valores variando de 0 a 255. Onde 0 representa a restrição total à exploração agrícola das terras, aumentando gradativamente até 255, valor de alta adequação para o mesmo fim. Essa imagem foi reclassificada em quatro classes (restrita, baixa, média, e alta), para uma melhor análise das áreas da microbacia que estão sendo utilizadas de maneira adequada ou não, segundo os critérios determinados para este estudo, resultando no mapa final de adequação de uso das terras (**Figura 6**). Analisando-se a **Figura 5** observa-se que, a maior parte da área apresenta valores de médio a alto grau de adequação de uso, comportamento que pode ser melhor visualizado na **Figura 6**, onde é possível observar que as áreas determinadas como de alta adequação de uso agrícola apresentam-se distribuídas ao longo de toda microbacia, mais concentradas na parte sudoeste, já, as de média adequação ocorrem nas porções leste, oeste e sul. As áreas com baixa adequação aparecem distribuídas ao leste, oeste e sudeste, sendo que a maior concentração ocorre na porção norte, onde o relevo varia de ondulado, forte ondulado a montanhoso.

A partir do mapa de adequação de uso das terras (**Figura 6**) foi possível calcular (no SIG) a área de cada classe, em valores absolutos. Com esses dados, determinou-se os valores relativos onde, 58,54% alta adequação de uso agrícola; 15,48% média, 10,98% baixa e 15%

restrita. Os dados demonstram ainda que 10,98% da área foram estabelecidas como de baixa adequação. Neste caso, o valor atribuído ao fator aptidão agrícola (0) influenciou fortemente o resultado, uma vez que, as terras ocorrentes nessa região, pertencem à classe de aptidão 6, ou seja, inaptas para uso agrícola. Entretanto, algumas dessas áreas apresentam uso adequado quanto à cobertura vegetal (vegetação nativa) e, foram classificadas como de baixa adequação de uso agrícola em função da aptidão neste local apresentar um valor 0 (restrições). As áreas de total restrição ao uso agrícola das terras (corpos d'água, APPs e estradas), independente do uso ou manejo do solo, representam 15% da área total da microbacia.

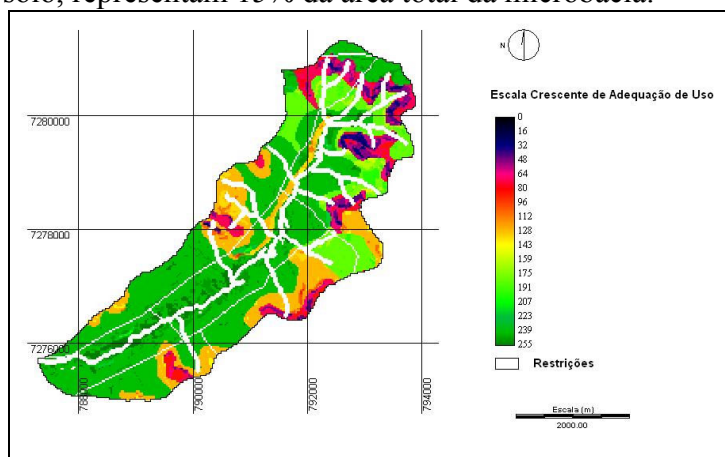


Figura 6. Escala contínua de adequação de uso agrícola (0 a 255).

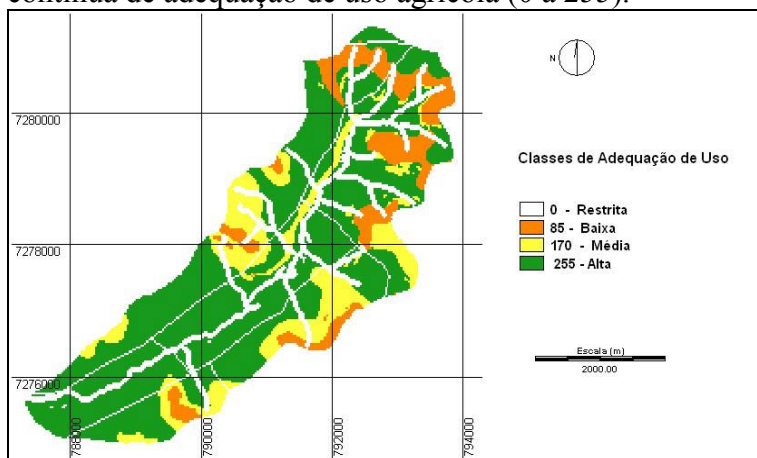


Figura 7. Mapa de classes de adequação de uso agrícola das terras.

4. Conclusão

A microbacia do Arroio Ajuricaba apresenta uma considerável potencialidade para uso agrícola, favorecida, principalmente, pelas boas condições dos solos e de relevo. A maior parte de suas terras (71,94%) apresenta aptidão para uso com culturas anuais, levando-se em consideração os diferentes tipos de manejo. O restante da área (15,85%) apresentou, como melhor recomendação de uso, atividades menos intensivas, referentes ao cultivo de pastagem e silvicultura e/ou pastagem natural. As áreas consideradas inaptas para o uso agrícola (12,21%) apresentam restrições de solo (pouca profundidade) e de relevo (forte ondulado a montanhoso). Essas áreas, portanto, devem ser destinadas para outros fins como o plantio de culturas permanentes ou para a preservação da flora e fauna, uma vez que, sob uso mais intensivo, pode ocasionar problemas de fertilidade e erosão.

Com relação à avaliação do uso da terra, um dos aspectos relevantes refere-se a reserva legal da microbacia, que apresenta uma área menor do que a estabelecida pelo Código

Florestal Brasileiro, o que denota a necessidade de realizar um enriquecimento com plantio de espécies nativas da região. Os critérios adotados para este estudo, mostraram-se adequados para o objetivo proposto. Entretanto, sugere-se que outros critérios também sejam empregados na análise para o aprimoramento desta metodologia, como: sociais, econômicos e culturais da comunidade. Salienta-se que a proposta desta metodologia, onde vários critérios foram utilizados, a seleção e a definição dos pesos referentes a cada um podem variar de acordo com as características da área, com o interesse e o objetivo do estudo. Entretanto, ela possibilitou a integração dos aspectos referentes à legislação com as características da paisagem na avaliação da adequação de uso das terras.

5. Referências bibliográficas

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BRASIL. **Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código florestal**. 1965. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama>> Acesso em 06 de outubro de 2005.
- COLLINS, M. G., STEINER, F. R., RUSHMAN, M. J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. **Environment Management**. v. 28, n. 5, p. 611-62, 2001.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 303, de 20 de março de 2002 – Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>> Acesso em 06 outubro de 2005.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2003. 328p. Manual Version 14.00
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisas de Solos.. Rio de Janeiro (RJ), 1999. 412p.
- IAPAR - Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná**. Londrina, PR, 1978
- JANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**. v. 14, n. 2, p.173-184. 2000.
- MALCZEWSKI, J. GIS - based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**. v. 62, n. 1, p. 3-65, Jul. 2004.
- MARECHAL CÂNDIDO RONDON. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Marechal_C%C3%A2ndido_Rondon> Acesso em outubro de 2005.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. L. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3ª ed ver. – Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.
- ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht. Kluwer Academic. (1996).
- SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Prediction. Projection and forecasting**. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA. 1991. 251p
- SOUZA, M. L. P. **Levantamento de solos e do risco ambiental das terras da sub-bacia do Córrego Ajuricaba, município de Marechal Cândido Rondon-PR**. Programa Cultivando Água Boa _ ITAIPU. TERRA-Planejamento Ambiental Consultoria Agrônômica. Curitiba – PR, 2004.
- TAGLANI, C. R. A. Técnicas para avaliação da vulnerabilidade de ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, MG. **Anais em CD-ROM ...** Belo Horizonte: INPE - SELPER, p. 1657-1664.
- WEBER, E.; HASENACK, H. O uso do geoprocessamento no suporte a projetos de assentamentos rurais: uma proposta metodológica. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 10. **Anais...** Porto Alegre/RS, 1999.