

APLICAÇÃO DO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO NA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA FUZZY DE APOIO AO PLANEJAMENTO DO USO FUTURO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: ESTUDO DE UMA CAVA MINERAL NA SERRA DO JAPI

Adriano BRESSANE¹, José Arnaldo Frutuoso ROVEDA¹, Sandra Regina Monteiro Masalskiene ROVEDA¹, Patricia Satie MOCHIZUKI², Antonio Cesar Germano MARTINS¹, Gerson Araujo de MEDEIROS¹, Afonso PECHE FILHO¹ & Admilson Irio RIBEIRO¹

- (1) Universidade Estadual Paulista, Avenida 3 de março, 511, Alto da Boa Vista, CEP 18087-180, Sorocaba, SP, Endereços eletrônicos: adriano.bressane@posgrad.sorocaba.unesp.br, roveda@sorocaba.unesp.br, sandra@sorocaba.unesp.br, amartins@sorocaba.unesp.br, gerson@sorocaba.unesp.br, afonsopeche@gmail.com, admilson@sorocaba.unesp.br.
- (2) Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Rua Gustavo Teixeira, 412, Mangal, CEP 18040-343, Sorocaba, SP, Endereço eletrônico: patriciasm@ambiente.sp.gov.br

Introdução
Área de Estudo
Materiais e métodos
 Processo Analítico Hierárquico – AHP
 Sistemas baseados em regras fuzzy
 Regras relacionais fuzzy com auxílio do AHP
Resultados e Discussão
 Modelagem do sistema de apoio
 Aplicação do sistema de apoio na área de estudo
Considerações Finais
Referências

RESUMO - A definição do uso futuro é fundamental para a recuperação de áreas degradadas. Entretanto, a seleção entre as alternativas requer uma avaliação integrada por meio de um processo lógico e estruturado. Assim, o objetivo deste estudo é introduzir uma proposta de apoio ao planejamento do uso futuro, aplicada em uma cava mineral desativada, na Serra do Japi, em Jundiá/SP. Para isso, foi elaborado um *Sistema de Inferência Fuzzy*, cuja base de regras foi construída com auxílio do *Processo Analítico Hierárquico*. Considerando sua relevância para autosustentabilidade, a conectividade florestal, a extensão da área e o efeito de borda foram selecionados como critérios de análise e as saídas sendo modeladas como recomendações de uso, representadas pela revegetação e redesignação. Como resultado, a partir da condição avaliada, sua aplicação na área de estudo recomendou a revegetação, prevalecendo a influência de sua boa conectividade florestal. Contudo, tratando-se de uma área relativamente pequena e com efeito de borda significativo, o sistema acusou um baixo nível de confiança nesta recomendação. Logo, considera-se uma saída coerente com a esperada e que proporciona uma referência satisfatória para que o tomador de decisão aceite ou rejeite a recomendação dada pelo sistema de apoio.

Palavras-chave: Áreas Degradadas; Sistema de Inferência Fuzzy; Planejamento ambiental.

ABSTRACT – APPLICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN THE CONSTRUCTION OF A FUZZY SYSTEM TO SUPPORT THE PLANNING FOR FUTURE USE IN LAND RECLAMATION: CASE STUDY OF THE PIT MINING IN SERRA DO JAPI. The definition of use future is fundamental to land reclamation. However, the selection among alternatives requires an integrated assessment through a structured and logic process. Thus, the aim of this paper is introduce a proposal to support the planning of future use, applied in a deactivated pit mining, in Serra do Japi, Jundiá city, São Paulo state, Brazil. For that, a Fuzzy Inference System was elaborated, whose rule base was constructed from Analytic Hierarchy Process. Considering its relevance to self-sustainability, the forest connectivity, the area extension and the edge effect were selected as analysis criteria and the outputs being modeled as use recommendations, represented by revegetation and re-destination. As results, based on evaluated condition, its application in the study area recommended the revegetation, predominating influence of its good forest connectivity. Although, being a relatively small area and with a significant edge effect, the system pointed out a low confidence level in this recommendation. Therefore, it was considered a coherent output with the expected and a satisfactory reference to the decision maker accept or deny the recommendation given by the support system.

Keywords: Degraded Areas; Fuzzy Inference System; Environmental Planning.

INTRODUÇÃO

A interação entre o homem e a natureza é necessária para sua sobrevivência, entretanto, práticas não conservacionistas e o descumprimento de normas reguladoras vêm

provocando o esgotamento de recursos, a significativa perda de qualidade ambiental e, conseqüentemente, o surgimento de áreas degradadas, que ocorrem quando:

[...] a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada de solo fértil for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. [...] há perda de adaptação das características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico (IBAMA, 1990, p. 49).

Assim, devido a demanda gerada por um padrão insustentável de consumo e crescimento econômico, estudos vêm sinalizando um colapso (Hall & Day Junior, 2009) caracterizado pela ausência de visão holística em uma perspectiva sistêmica, incapaz de prevenir prejuízos aos serviços ambientais, como a perda da produtividade de solos: “*Each year another 6 million hectares are degraded to desert-like conditions*”(UN, 1987, 34p.).

Embora a taxa mundial de desmatamento venha diminuído, ainda é alarmante: “*Around 13 million hectares of forest were converted to other uses or lost through natural causes each year in the last decade compared with 16 million hectares per year in the 1990s*”(FAO, 2010, xiii p.).

Por outro lado, proporcionar adequadas condições de vida e atender demandas sociais básicas, como moradia, emprego e alimentação, não possibilita solucionar a questão ambiental com a simples interrupção do crescimento econômico, sobretudo, quando se trata de atividades minerárias, que constituem fontes produtoras essenciais na evolução alcançada pela sociedade (Ferreira & Ferreira, 2008).

Desse modo, a necessidade de compatibilizar o atendimento das demandas socioeconômicas com a manutenção da qualidade ambiental exigiu instrumentos de gestão, como a recuperação de áreas degradadas (RAD), para a qual foram instituídas regulamentações como a Instrução IBAMA 4 de 2011 (IBAMA, 2011), entre tantas outras como a Resolução CONAMA 429

de 2011 (CONAMA, 2011), a Instrução MMA 05 de 2009 (MMA, 2009) e a Resolução SMA 32 de 2014 (SMA, 2014).

No entanto, esta diversidade de normas, a falta de padronização e de uma orientação sistemática para o equacionamento das variáveis envolvidas no plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD), não proporciona satisfatório suporte às tomadas de decisão envolvidas neste processo, principalmente para o planejamento do uso futuro da terra.

Neste sentido, considerando características da área, recuperá-la através da revegetação para desempenho de funções ecológicas nem sempre pode representar uma alternativa apropriada. Nestes casos, a redesignação para fins socioambientais, como a criação de parques, para a regularização fundiária sustentável, para a implantação de infraestrutura urbana, ou mesmo para o aproveitamento econômico condicionado à compensação ambiental em outras áreas, pode ser mais recomendada.

Assim, são comuns os casos de redesignação ou reabilitação para novo uso, entre os quais: recreação (Parque do Ibirapuera), destinação de resíduos (Aterro Itaquera), controle de enchentes (Piscinão Caravelas) e a urbanização pela construção de edifícios comerciais e condomínios residenciais, como no caso da antiga pedreira da Votorantim no bairro Jaguaré, em São Paulo/SP (Ricciardi & Sanchez, 2004).

Trata-se de uma decisão envolvendo múltiplas variáveis, sendo proposto considerar, no mínimo, critérios como a extensão da área, a conectividade florestal e o efeito de borda, pois em condições críticas, como na ausência de fragmentos próximos para o suprimento de propágulos e trocas genéticas (Kageyama & Gandara, 2000), de extensões pequenas ou muito alongadas, sujeitas a efeitos de borda severos (Metzger, 1999), podem inviabilizar fins estritamente ecológicos.

Logo, a seleção destes critérios baseou-se no entendimento de que representam variáveis que podem ser determinantes para a autosustentabilidade da área, isto é, para que se possa manter a condição, sucessão natural e desempenhos das funções destinadas após a recuperação (SMA, 2014).

Contudo, o planejamento do uso futuro requer a integração de dados com métricas distintas e parâmetros de natureza diversa, com

análises sujeitas a imprecisões e incertezas intrínsecas ao entendimento dos processos complexos que condicionam a recuperação de áreas degradadas.

A modelagem de sistemas complexos e com tais características têm sido atualmente desenvolvida através de uma abordagem *fuzzy*, introduzida por Zadeh (1965), que tem se mostrado importante em diferentes áreas da ciência, sobretudo pela forma como permite tratar as incertezas, além da possibilidade de combinar dados de natureza distinta (Zadeh, 2008).

Desde os trabalhos propostos por Silvert (1997, 2000) vários estudos ambientais têm aplicado esta teoria na modelagem de sistemas e na elaboração de instrumentos de apoio à decisão (Menezes et al., 2013; Canavese et al., 2012; Janssen et al., 2010; Kahraman & Kaya, 2010; Lermontov et al., 2009; Gabriel Filho et al., 2009; Içaga, 2007; Ylmaz, 2007; Mendoza & Prabhu, 2003; Riedler & Jandl, 2002; Cornelissen et al., 2001).

Para isso, uma importante ferramenta desta teoria são os sistemas de inferência *fuzzy*, construídos com base no conhecimento de especialistas, nos quais antecedentes e consequentes são descritos por variáveis

linguísticas que naturalmente são representadas por conjuntos *fuzzy* e conectivos lógicos destes conjuntos. Esses sistemas avaliam de forma computacional a incerteza associada à linguística e, por meio das informações expressas em regras, permitem simular o raciocínio dos tomadores de decisão (Ross, 2009).

No entanto, para garantir a robustez do sistema, é preciso estar atento à consistência dos julgamentos dos especialistas considerados na sua elaboração. Portanto, considera-se que o uso de técnicas como o Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process - AHP*), desenvolvido por Saaty (1977) para avaliar tais inconsistências, pode ser aplicado conjuntamente à lógica *fuzzy*, visando dar suporte aos julgamentos envolvidos na construção de sistemas baseados em regras.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi introduzir a construção de um sistema de inferência *fuzzy* (*Fuzzy Inference System - FIS*) de apoio ao planejamento do uso futuro na RAD, com uso de ponderadores gerados pela técnica AHP. Como estudo de caso, o FIS foi aplicado em uma área interna ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em Jundiaí/SP.

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em uma cava desativada de extração mineral, com extensão relativamente pequena, cerca de 1,89 ha ou 18.900 m², situada internamente ao Centro de Engenharia e Automação, unidade do Instituto Agrônomo de Campinas, localizada no km 65 da Rodovia Gabriel Paulino Bueno Couto (SP-300), Jundiaí/SP, sob as coordenadas centrais UTM 23S de latitude 300.450mE e longitude 7.434.200mN, datum WGS 1984 (Figura 1).

Trata-se de uma área especialmente protegida por estar na Reserva Biológica Municipal da Serra do Japi e na zona de amortecimento (de desenvolvimento sustentável) da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (IF, 2014). Todavia, encontra-se degradada devido ao processo de extração de areia e cascalho,

iniciado após o processo de urbanização da região de Jundiaí/SP, na década de 1960 (Ribeiro et al., 2012).

O clima, pela classificação de Köppen, corresponde ao temperado úmido (Cfb) com pluviosidade média anual de 1334 mm e temperatura média anual que alcança 20,9 °C, com média das mínimas em 14,6 °C e das máximas em 27,0 °C (CEPAGRI, 2014).

Conforme Hasui et al. (1978), a Serra do Japi e adjacências resultam de processos tectônicos, metamórficos e magmáticos polifásicos atribuídos aos Ciclos Transamazônico e Brasileiro. Com base na compartimentação morfotectônica descrita por Neves et al. (2003) para a região de Jundiaí, constata-se que a área pertence a unidade litoestratigráfica dos depósitos aluviais quaternários, como ilustrado na Figura 2.

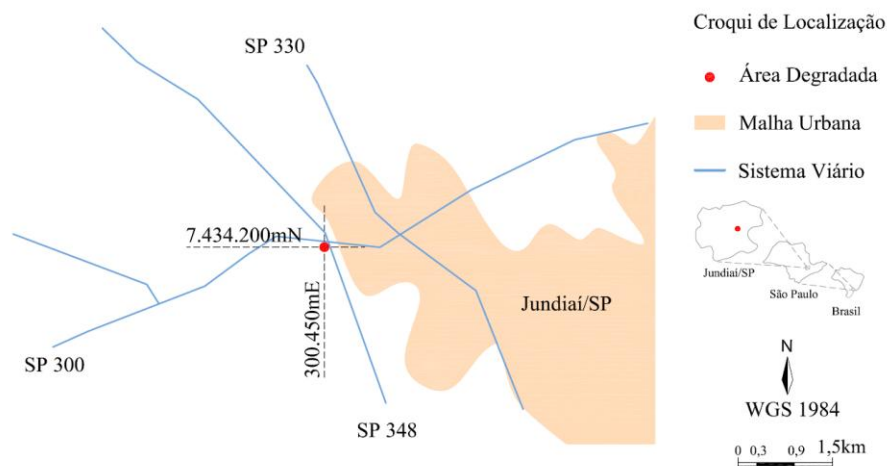


Figura 1. Localização da área degradada por mineração, objeto de estudo.

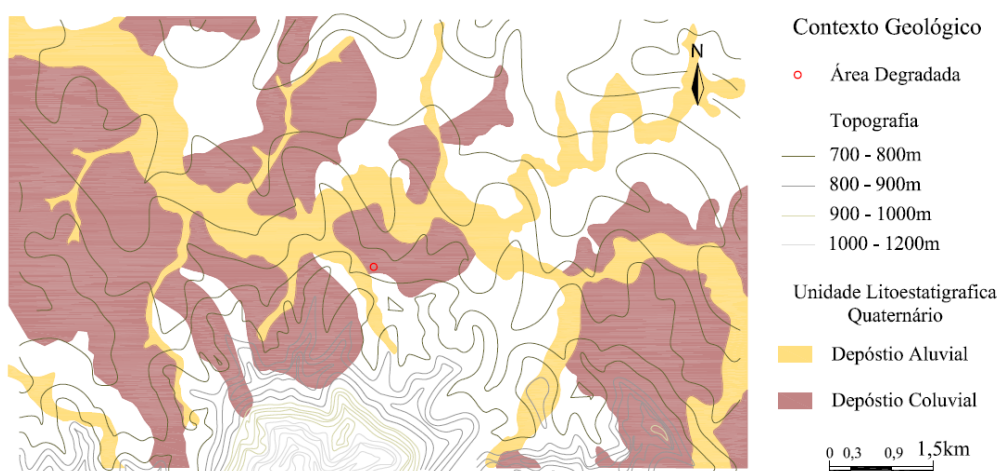


Figura 2. Contexto geológico regional. Fonte: Modificado de Neves, 1999.

Situada no nível médio do Planalto de Jundiaí, no entorno da área predominam formas de relevo constituídas por colinas e morros baixos com topos convexos (Ross & Moroz,

1997). Na área da cava, o relevo sofreu um rebaixamento topográfico formando três estratos bem definidos, mapeados como setores eluvionar, coluvionar e aluvionar (Figura 3).

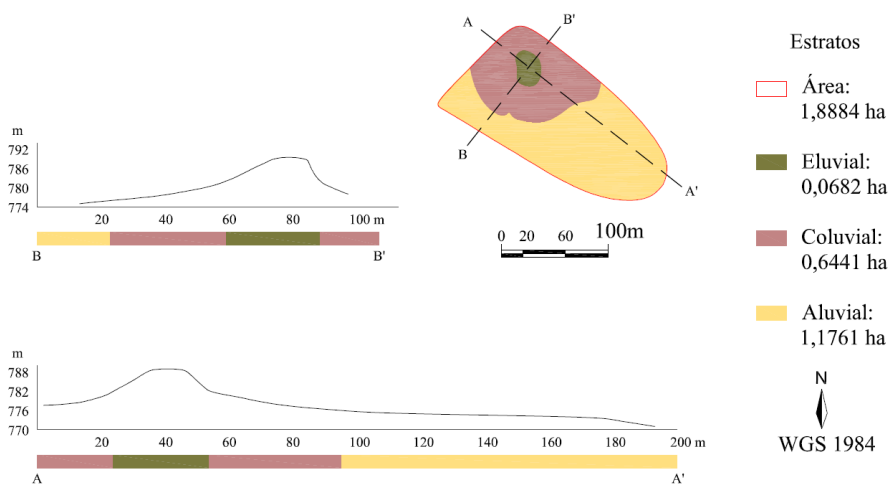


Figura 3. Estratificação topográfica da área de estudo. Fonte: elaborada pelos autores.

Com base em levantamentos no local, constatou-se altimetria entre 770 metros em sua porção sudeste e 789 metros na porção

noroeste, com declives predominantes entre 5 e 10%, embora superiores a 45% em determinadas encostas (Figura 4).

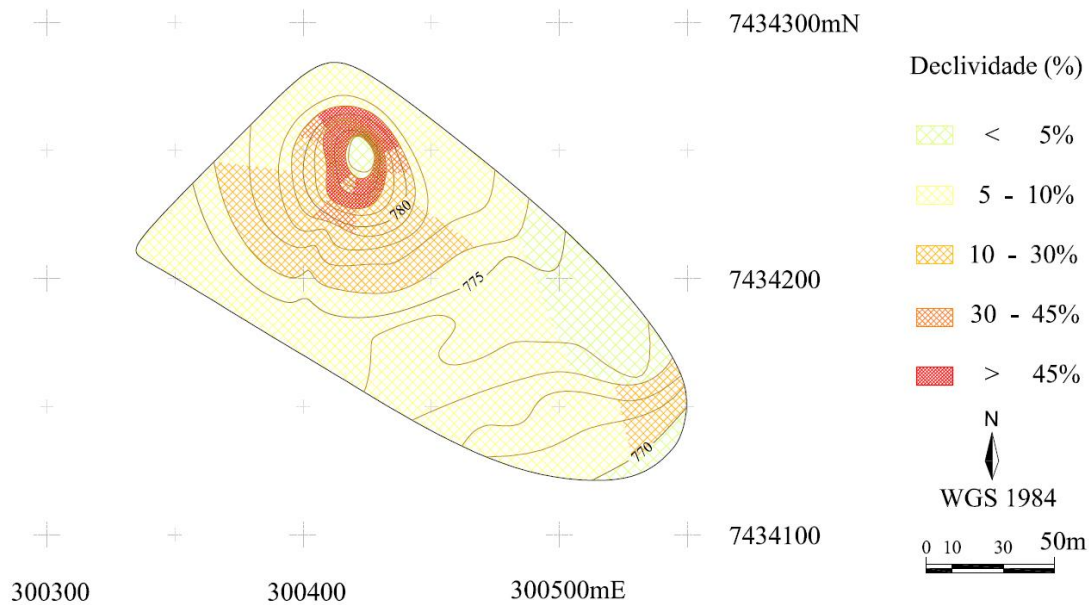


Figura 4. Condição topográfica na área de estudo. Fonte: elaborada pelos autores.

Embora não existam corpos hídricos na área, canais preferenciais de escoamento superficial (deflúvio) se formam durante e após as

precipitações, os quais, em decorrência do decaimento do solo, estão atualmente sujeitos a processos erosivos (Figura 5).

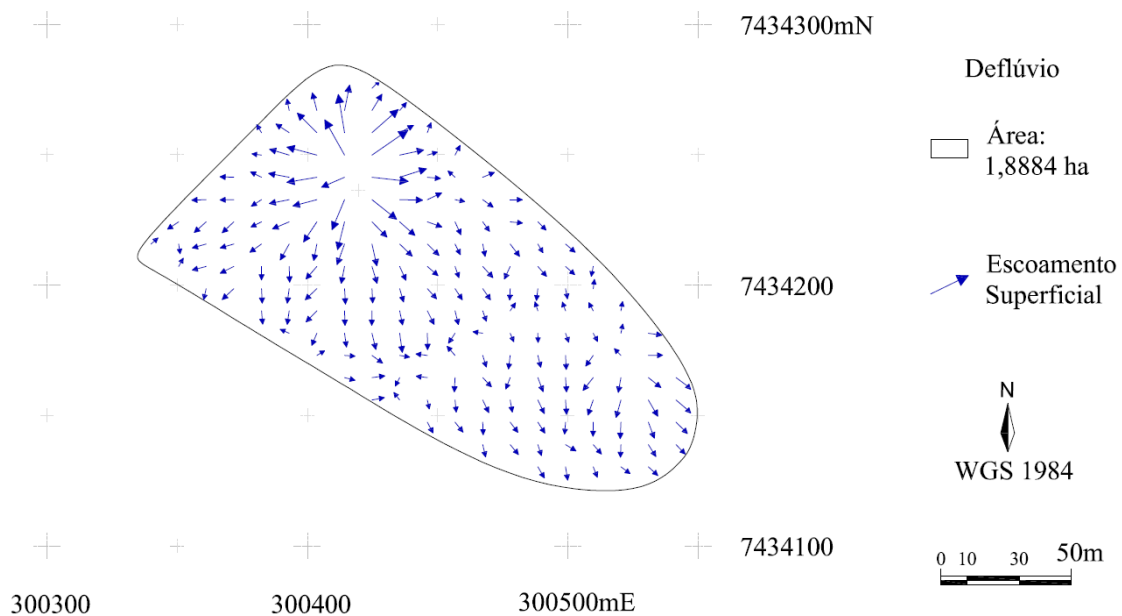


Figura 5. Mapeamento do deflúvio na área de estudo. Fonte: elaborada pelos autores.

O solo na área pertence à classe dos argissolos vermelhos distróficos (Jesus & Rueda, 2002), no qual análises realizadas com

amostras coletadas em campo indicaram baixo teor de matéria orgânica, acidez alta, baixa fertilidade e textura média (Figura 6).

	Eluvionar	Coluvionar	Aluvionar
pH	4,7	4,3	4,4
MO g/dm ³	28,0	4,0	4,0
P mg/dm ³	10,0	2,0	2,0
K [mmolc/dm ³]	3,8	1,1	0,7
Ca [mmolc/dm ³]	26,0	2,0	2,0
Mg [mmolc/dm ³]	10,0	1,0	1,0

Figura 6. Parâmetros químicos de diagnóstico do solo. Fonte: elaborada pelos autores.

Testes de impedância mecânica radicular das plantas nos três estratos demonstraram condições de alta resistência à penetração, desfavorecendo o desenvolvimento

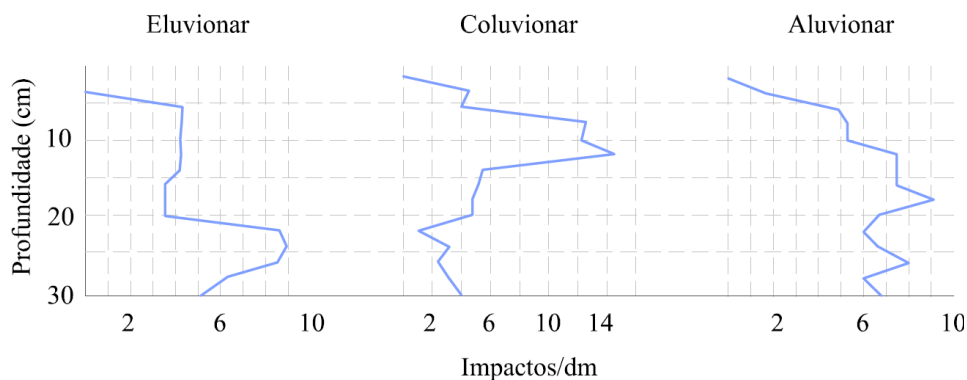


Figura 7. Análise de resistência a penetração nos estratos.

Em uma região de ecótono, com tensão ecológica de transição entre o cerrado e a mata atlântica, ocorre Floresta Estacional em Contato Savana, especificamente, floresta estacional semidecídua e floresta ombrófila densa (IF, 2014). Não há remanescentes florestais na área, mas em sua adjacência existem fragmentos florestais nativos e reflorestamentos comerciais que totalizam cerca de 30 fragmentos no raio de 3 km.

Não ocorrem fragmentos de cerrado no raio de 10 km de entorno, existindo apenas fragmentos de Floresta Ombrófila Densa a partir de 120 m distância. Do total dos 30 fragmentos florestais, 14 correspondem a reflorestamento de espécies exóticas, como eucalipto e pinus para fins comerciais. No interior da área há ainda um reflorestamento com Araucárias, a cerca de 150 m da área degradada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Processo analítico hierárquico - AHP

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) é uma das primeiras ferramentas desenvolvidas para auxílio à decisão baseada em múltiplos critérios (*Multi Criteria Decision Aid - MCDA*) e, apesar da diversidade de técnicas com essa finalidade, destaca-se entre aquelas com maior número de aplicações (Vaidya & Kumar, 2006).

A aceitação da AHP deve-se à sua capacidade de avaliar a consistência de julgamentos, mediante comparações pareadas pela atribuição de pesos aos critérios influentes no processo decisório (Paula & Cerri, 2012).

Para esta ponderação, Saaty (1994) propôs uma escala de valores que determinam se a

influência de um critério prevalece sobre outro, variando de 1 que indica que ambos têm a mesma importância, até 9 que estabelece o mais alto grau de importância relativa.

A atribuição destes pesos ocorre com uso de uma matriz de comparações (*A*) quadrada recíproca de ordem *d*, isto é, na qual um número *d* de critérios é disposto nas linhas e se repetem nas colunas. Assim, os valores são inseridos nas células (a_{mn}), sempre expressando a importância relativa do critério *m* disposto na linha sobre outro *n* descrito na coluna (Equação 1):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Desse modo, caso o primeiro critério (m) não prevaleça sobre o segundo (n), são usados os valores fracionados (1/9;1). A partir desta matriz (A), os julgamentos do especialista são avaliados pela seguinte razão de consistência (RC) (Equação 2):

$$RC = CI / RI \quad (2)$$

onde, RI corresponde a um índice aleatório de consistência, que é um valor tabelado específico para cada ordem d da matriz; e CI é o índice de consistência, dado por (Equação 3):

$$CI = (\lambda_{max} - d) / (d - 1) \quad (3)$$

onde, λ_{max} é o autovalor máximo da matriz (A), obtido por (Equação 4):

$$\lambda_{max} \cdot w = Aw \quad (4)$$

onde, w é o autovetor principal, designado por $w = (w_1, w_2, \dots, w_d)$, composto pelos pesos médios normalizados calculados para cada elemento ($m = 1, 2, \dots, d$), dado por (Equação 5):

$$w_m = \left[\sum_{n=1}^d \left(\frac{a_{mn}}{\sum_{m=1}^d a_{mn}} \right) \right] / d \quad (5)$$

Conforme proposto por Saaty (1994), os julgamentos são considerados consistentes quando RC é inferior a 10%, devendo ser revistos ou descartados para valores iguais ou superiores.

Sistemas baseados em regras FUZZY

Como se pretende neste estudo, os Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (SBRF) podem ser aplicados como controladores fuzzy (CF) que

geram como saída ações recomendadas a partir de um estado ou condição avaliada (Shaw & Simões, 2001), envolvendo quatro etapas principais: fuzzificação; construção da base de regras; inferência; e defuzzificação.

A fuzzificação corresponde à modelagem das variáveis em conjuntos fuzzy com seus respectivos domínios, proposição de modificadores linguísticos e funções características. Aplicada para MCDA, os conjuntos de entrada corresponderam aos critérios influentes na tomada de decisão, e os conjuntos de saída equivaleram às alternativas recomendadas.

A construção da base de regras corresponde ao relacionamento entre tais conjuntos, através de conectivos lógicos que equacionam valores de pertinência calculados através de funções características (μ_F), expressas por (Equação 6):

$$\mu_F: X \rightarrow [0,1] \quad (6)$$

onde X denota um conjunto universo clássico e F um conjunto fuzzy, subconjunto de X .

Para cada $x \in X$, o valor $\mu_F(x)$ indica o grau de pertinência do elemento x no conjunto fuzzy F , sendo que para $\mu_F(x) = 0$, x não pertence ao conjunto e $\mu_F(x) = 1$ indica que x pertence plenamente, sendo os valores intermediários indicadores de pertinências parciais.

A escolha da função de pertinência (μ_F) e sua forma são definidas pelo analista, estando entre as formas mais utilizadas a trapezoidal, adotada neste trabalho (Equação 7):

$$\mu_F(x) = \begin{cases} (x - a) / (b - a) & \text{se } a \leq x < b; \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c; \\ (d - x) / (d - c) & \text{se } c < x < d; \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (7)$$

onde a, b, c e d são os parâmetros descritos dos números fuzzy que modelam os conjuntos de entrada e saída do sistema.

Para inferência são utilizados os conectivos t-norma e t-conorma, que estabelecem a relação fuzzy na modelagem matemática da base de regras. Para isso, será utilizado o Método de Mandani que segue o procedimento (Barros & Bassanezi, 2006): em cada regra j a condição “se x é A_j então u é B_j ” é modelada pela aplicação da

t-norma \wedge (mínimo); adota-se a t-norma \wedge (mínimo) para o conectivo “e”; e a t-conorma \vee (máximo) para “ou”.

Com base nestas definições, sendo F_j e G_j subconjuntos *fuzzy* da regra j , o Método de Mandani estabelece uma relação *fuzzy* R , cuja função de pertinência é dada por (Equação 8):

$$\varphi_R(x, u) = \max_{1 \leq j \leq r} (\varphi_{R_j}(x, u)) = \max_{1 \leq j \leq r} [\varphi_{F_j}(x) \wedge \varphi_{G_j}(u)] \quad (8)$$

onde x representada o estado ou condição avaliada; u indica a saída ou alternativa recomendada; e r é o número de regras que compõem a base.

Para defuzzificação, os valores gerados na inferência foram transformados para números *crisp* pelo método do Centro de Gravidade (G), dado por (Equação 9):

$$G(B) = \frac{\sum_{j=0}^n u_j \varphi_B(u_j)}{\sum_{j=0}^n \varphi_B(u_j)} \quad (9)$$

onde $\varphi_B(u)$ é o grau de compatibilidade do valor u com o conceito modelado pelo conjunto *fuzzy* B .

Regras relacionais FUZZY com auxílio do AHP

Como o autovetor (w) determinado pelo AHP expressa uma ponderação quanto à influência de cada critério sobre a tomada de decisão, propõe-se que os pesos médios normalizados (w_1, w_2, \dots, w_d) sejam adotados

$$S_{\alpha\beta\gamma} = c_{1\alpha} \cdot w_1 + c_{2\beta} \cdot w_2 + \dots + c_{d\gamma} \cdot w_d \quad (10)$$

onde, α, β e γ são valores assumidos por j equivalente a condição avaliada para cada critério; w_m é o peso médio normalizado obtido através do AHP para cada critério; e c_{mj} é dado por (Equação 11):

$$c_{mj} = f_{mj} \cdot \sigma_{mj} \quad (11)$$

como parâmetros para auxiliar na construção das regras relacionais do Sistema de Inferência *Fuzzy* (FIS).

Em outras palavras, propõe-se um procedimento para análise prévia da relevância de cada critério avaliado no FIS que, além de assegurar a consistência no julgamento dos especialistas, pode facilitar seu entendimento na análise do problema proposto e, quando for o caso, reduzir consideravelmente o número final de regras no processo de inferência *fuzzy* (Barin et al., 2010).

Para isso, considerando múltiplos critérios c_{mj} , onde $m = (1, 2, \dots, d)$ e d é o número de critérios, influentes na tomada de decisão, cada qual composto de modificadores linguísticos $j = (1, 2, \dots, k)$, sendo k o número de classes que representam o estado ou condição avaliada para cada critério, propõe-se que a ação ou alternativa recomendada (S) seja obtida por (Equação 10):

onde f_{mj} é a força do modificador j pertencente ao critério c_{mj} ; e σ_{mj} é o indicador da saída apoiada pelo modificador j ; ambos conforme os valores propostos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Classes propostas para atribuição de força aos modificadores.

Valores para f_{mj}	Força do modificador	Interpretação
0	Nula	Não apoia à alternativa
0,25	Fraca	Apoia levemente à alternativa
0,50	Moderada	Apoia moderadamente à alternativa
0,75	Forte	Apoia fortemente à alternativa
1	Máxima	Apoia muito fortemente à alternativa

Tabela 2. Indicadores de saída (σ_{mj}) propostos para indicação da alternativa apoiada.

Número de alternativas	σ_{mj} para alternativa *				
	1	2	3	4	5
2	-1	1			
3	-1	0	1		
4	-1	-0,5	0,5	1	
5	-1	-0,5	0	0,5	1

* valores propostos para um sistema com até 5 saídas.

Seguindo estes procedimentos, propõe-se ainda que o intervalo de saída (DS) gerado pela equação (10) seja subdividido em cinco classes modificadoras por alternativa, que indicam o Nível de Confiança na Recomendação (NCR), adotando como limiar o ponto médio entre classes.

Dessa forma, estas classes corresponderam aos conjuntos de saída, reescritos como números fuzzy para construção das regras, como ilustrado na Tabela 3 para um processo decisório entre duas alternativas, em que se adotou conjuntos trapezoidais simétricos e grau de fuzzificação ($\delta = b - a = d - c$) equivalente a 0,1 em torno dos limiares de cada intervalo.

Tabela 3. Classificação proposta para modelagem das saídas do sistema com 2 alternativas e conjuntos fuzzy trapezoidais simétricos com grau de fuzzificação 0,1.

Alternativa (A_i)	DS [l_i ; l_s]	NCR	Conjuntos fuzzy de Saída ($l_i - \delta/2; l_i + \delta/2; l_s - \delta/2; l_s + \delta/2$)	Recomendação (Saída do SBRF)
A_1	[-1,0 ; -0,8[	Muito Alto (MA)	(-1,00; -1,00; -0,85; -0,75)	A_1MA
	[-0,8 ; -0,6[	Alto (A)	(-0,85; -0,75; -0,65; -0,55)	A_1A
	[-0,6 ; -0,4[	Médio (M)	(-0,65; -0,55; -0,45; -0,35)	A_1M
	[-0,4 ; -0,2[	Baixo (B)	(-0,45; -0,35; -0,25; -0,15)	A_1B
	[-0,2 ; 0,0]	Muito Baixo (MB)	(-0,25; -0,15; 0,00; 0,00)	A_1MB
A_2	[0,0 ; 0,2]	Muito Baixo (MB)	(0,00; 0,00; 0,15; 0,25)	A_2MB
	] 0,2 ; 0,4]	Baixo (B)	(0,15; 0,25; 0,35; 0,45)	A_2B
	] 0,4 ; 0,6]	Médio (M)	(0,35; 0,45; 0,55; 0,65)	A_2M
	] 0,6 ; 0,8]	Alto (A)	(0,55; 0,65; 0,75; 0,85)	A_2A
	] 0,8 ; 1,0]	Muito Alto (MA)	(0,75; 0,85; 1,00; 1,00)	A_2MA

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelagem do sistema de apoio

A fuzzificação, desenvolvida com base na literatura e conhecimento de especialistas para construção do sistema de apoio ao planejamento do uso futuro, resultou na modelagem dos conjuntos de entrada considerando os seguintes critérios (c_{mj}):

-Conectividade florestal (c_{1j}): Boa (c_{11}), Regular (c_{12}) e Ruim (c_{13});

-Extensão da área (c_{2j}): Pequena (c_{21}), Média (c_{22}) e Grande (c_{23}); e

-Efeito de Borda (c_{3j}): Muito Alongada (c_{31}), Alongada (c_{32}) e Arredondada (c_{33}).

Os domínios e funções características propostos para estes conjuntos podem ser visualizados na Figura 8, assim como os conjuntos de saída deste sistema, constituídos pelas seguintes alternativas (A_i) e respectivos

Níveis de Confiança na Recomendação (NCR) como modificadores:

- *Redestinação* (A_1): *Muito Baixo* (A_{1MB}), *Baixo* (A_{1B}), *Médio* (A_{1M}), *Alto*

(A_{1A}) e *Muito Alto* (A_{1MA});

- *Revegetação* (A_2): *Muito Baixo* (A_{2MB}), *Baixo* (A_{2B}), *Médio* (A_{2M}), *Alto* (A_{2A}) e *Muito Alto* (A_{2MA});

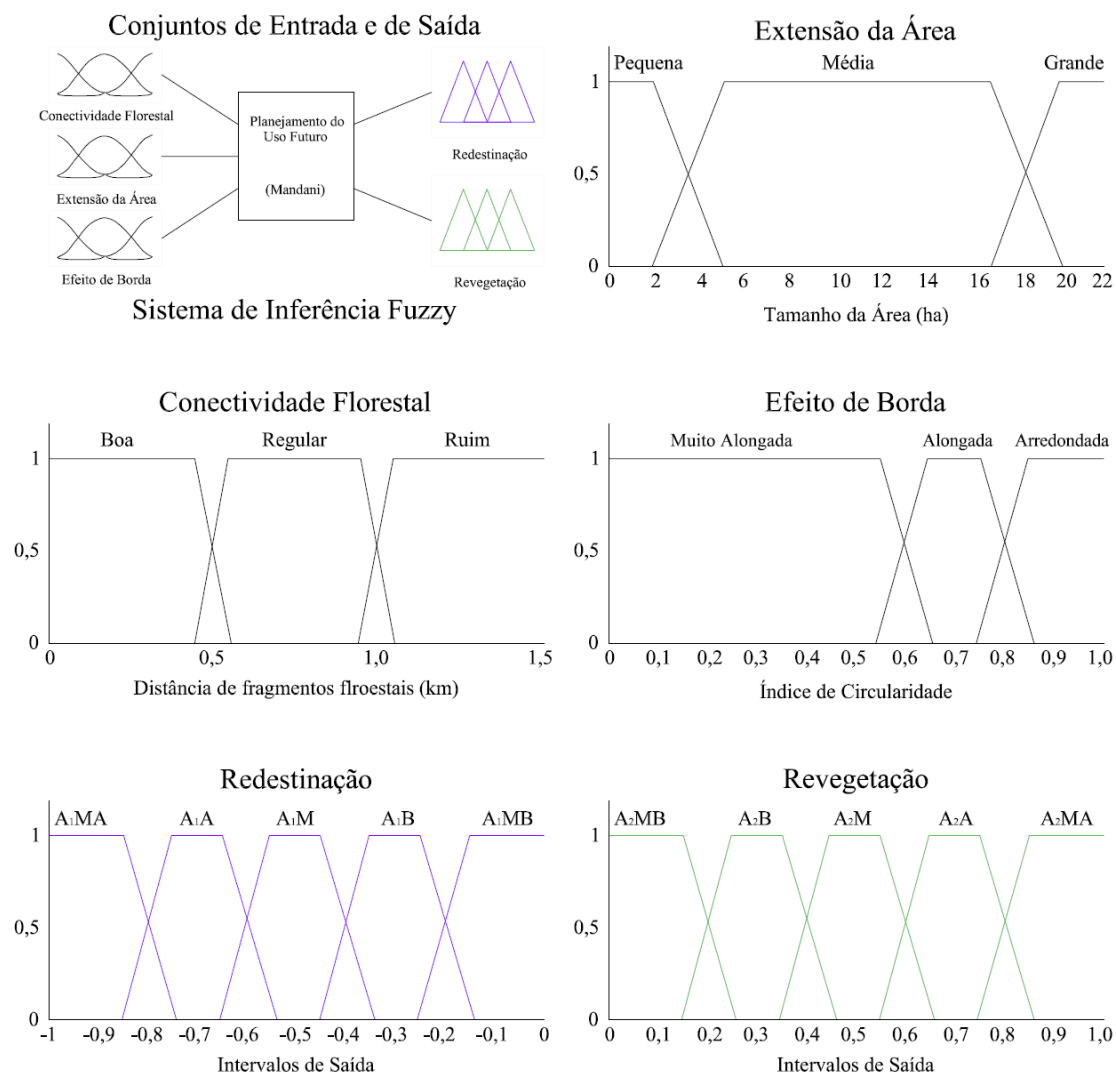


Figura 8. Modelagem dos conjuntos fuzzy do sistema de apoio ao planejamento do uso futuro.

Para auxiliar a construção da base de regras *fuzzy*, primeiramente os critérios (c_{1j} , c_{2j} e c_{3j}) foram hierarquizados com uso da técnica AHP,

com base no preenchimento da matriz de comparação pareada (A) apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Matriz de Comparação (A) para hierarquização dos critérios quanto a sua influência sobre a seleção das alternativas de uso futuro na recuperação de áreas degradadas.

<i>Critérios</i>	Conectividade Florestal	Extensão da área	Efeito de Borda
Conectividade florestal	1	3	2
Extensão da área	1/3	1	1/2
Efeito de Borda	1/2	2	1

A partir destes valores e da aplicação das equações (2 a 5) apresentadas anteriormente, resultaram os parâmetros de autovalor máximo,

razão de consistência e autovetor (pesos médios normalizados), apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Avaliação da consistência dos julgamentos de hierarquização (RC) e pesos médios normalizados (w) para construção da base de regras.

<i>Crítérios</i> (c_{mj})	<i>Autovetor</i> (w)	<i>Vetor</i> (Aw)	<i>Autovalor</i> ($\lambda_{max}w=Aw$)	<i>IC</i> ($\lambda_{max}-n/n-1$)	<i>RC</i> ($IC/0,58^*$)
Conectividade Florestal	0,539	1,625	3,015	0,007	0,013
Extensão da área	0,164	0,492	3,004	0,002	0,004
Efeito de Borda	0,297	0,894	3,008	0,004	0,007

* Valor tabelado para matriz de ordem 3, conforme proposto por Saaty (1990).

Constata-se que a razão de consistência (RC) ficou significativamente abaixo do limiar de referência (10%), o que atesta a coerência na lógica de hierarquização dos critérios considerados, habilitando o uso do autovetor w de pesos médios normalizados (0,539; 0,164; 0,297) como ponderadores auxiliares na construção da base de regras *fuzzy*.

Para compor a função de ponderação, aos modificadores apresentados na modelagem dos conjuntos *fuzzy* foram atribuídos a força (f_{mj}) e o indicador da saída apoiada (σ_{mj}) para cálculo dos critérios (c_{mj}) através da equação (11), conforme resumido na Tabela 6.

Tabela 6. Atribuição da força (f_{mj}) e indicador da saída (σ_{mj}) a cada um dos critérios (c_{mj}) e seus respectivos cálculos.

<i>Crítérios</i> (c_{mj})	<i>Modificadores</i> (j)	<i>Força</i> (f_{mj})	<i>Indicador</i> (σ_{mj})*	<i>Valor</i> ($c_{mj} = f_{mj} \cdot \sigma_{mj}$)
Conectividade Florestal (c_{1j})	<i>Boa</i> (c_{11})	0,75	1	0,75
	<i>Regular</i> (c_{12})	0,50	1	0,50
	<i>Ruim</i> (c_{13})	0,75	-1	-0,75
Extensão da área (c_{2j})	<i>Pequena</i> (c_{21})	1	-1	-1
	<i>Média</i> (c_{22})	0,50	1	0,50
	<i>Grande</i> (c_{23})	1	1	1
Efeito de Borda (c_{3j})	<i>Muito Alongada</i> (c_{31})	1	-1	-1
	<i>Alongada</i> (c_{32})	0,75	-1	-0,75
	<i>Arredondada</i> (c_{33})	1	1	1

* Proposto seguindo a convenção: Redestinação (A_1) = -1; Revegetação (A_2) = 1

Com base nestes valores e na aplicação da função de ponderação apresentada nas equações (8, 9 e 10), a construção da base de regras

resultou nas proposições apresentadas na Tabela 7 adiante e nas superfícies *fuzzy* ilustradas na Figura 9.

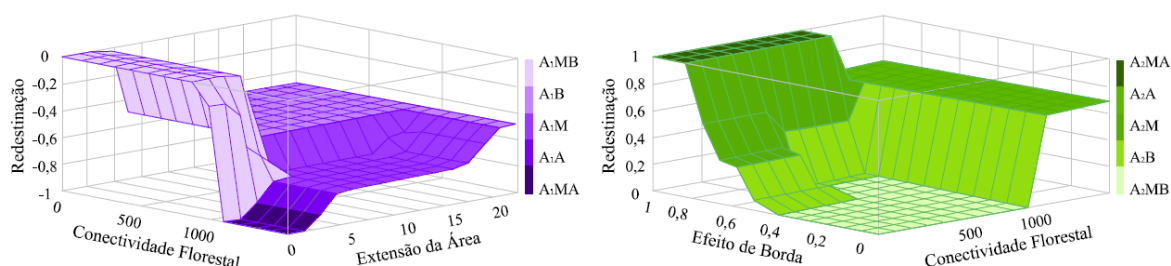


Figura 9. Superfícies *fuzzy* equivalentes às saídas recomendadas pelo sistema.

Tabela 7. Proposições da base de regras fuzzy, construídas com auxílio dos parâmetros ponderadores gerados com uso do AHP.

Conectividade Florestal	Extensão da Área	Efeito de Borda	Saída (S)*	Alternativa Recomendada	NCR
Boa	Pequena	Muito Alongada	-0.057	Redestinação	muito baixo
		Alongada	0.018	Revegetação	muito baixo
		Arredondada	0.537	Revegetação	médio
	Media	Muito Alongada	0.189	Revegetação	muito baixo
		Alongada	0.263	Revegetação	baixo
		Arredondada	0.783	Revegetação	alto
	Grande	Muito Alongada	0.271	Revegetação	baixo
		Alongada	0.345	Revegetação	baixo
		Arredondada	0.865	Revegetação	muito alto
Regular	Pequena	Muito Alongada	-0.192	Redestinação	muito baixo
		Alongada	-0.117	Redestinação	muito baixo
		Arredondada	0.403	Revegetação	médio
	Media	Muito Alongada	0.055	Revegetação	muito baixo
		Alongada	0.129	Revegetação	muito baixo
		Arredondada	0.649	Revegetação	alto
	Grande	Muito Alongada	0.137	Revegetação	muito baixo
		Alongada	0.211	Revegetação	baixo
		Arredondada	0.731	Revegetação	alto
Ruim	Pequena	Muito Alongada	-0.865	Redestinação	muito alto
		Alongada	-0.791	Redestinação	alto
		Arredondada	-0.271	Redestinação	baixo
	Media	Muito Alongada	-0.619	Redestinação	alto
		Alongada	-0.545	Redestinação	médio
		Arredondada	-0.025	Redestinação	muito baixo
	Grande	Muito Alongada	-0.537	Redestinação	médio
		Alongada	-0.463	Redestinação	médio
		Arredondada	0.057	Revegetação	muito baixo

* Valores obtidos através da equação (10).

Ressalta-se que a predominância de proposições que resultaram na alternativa de Revegetação (A_2) expressa a tendência conservacionista adotada na atribuição das forças (f_{mj}) e os indicadores de saída (σ_{mj}). Portanto, este é um recurso que proporciona adaptabilidade ao sistema a critério do analista, que poderia optar por uma tendência mais desenvolvimentista que resultaria em um maior número de proposições recomendando a Redestinação (A_1).

Considerando que este procedimento gera proposições de regras através dos valores resultantes da equação (10), tem-se que o mesmo proporciona uma sistemática conveniente, pois além de assegurar a consistência de julgamentos, também condiciona coerência na construção destas regras, ao eliminar erros inerentes a falta de padronização nos relacionamentos entre critérios, sobretudo, quando há número excessivo de regras a formular.

APLICAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO NA ÁREA DE ESTUDO

Para desenvolvimento do estudo de caso, foi realizado um levantamento de parâmetros

diagnósticos, abrangendo os critérios ou dados de entrada que compõem o sistema de apoio ao

planejamento do uso futuro, conforme apresentado na caracterização da área de estudo e resumido na sequência.

Quanto à extensão da área, com apenas 1,89ha de extensão, a mesma pode ser considerada pequena (c_{21}). Embora não ocorra vegetação remanescente no local, em sua proximidade existem fragmentos florestais nativos (Floresta Ombrófila Densa) distanciados a partir de 120m da área, o que proporciona uma boa conectividade florestal (c_{11}).

Com base nas condições de forma da área, o efeito de borda pôde ser estimado por seu coeficiente de circularidade (C), dado por (Borges et al., 2004) (Equação 12):

$$C = \sqrt{E/Ac} \quad (12)$$

onde, E corresponde a extensão da área em análise; e Ac equivale a área do círculo com mesmo perímetro.

Considerando que a área possui uma extensão (E) de 18.884 m² e um perímetro de 749,44m, a área do círculo com este mesmo perímetro (Ac) equivale a 44.696m², logo pela equação (12) obtém-se que um índice de circularidade aproximadamente igual a 0,65 ($0,6 < C < 0,8$), que caracteriza a área como alongada (c_{32}).

Dessa forma, utilizando o método de inferência de Mandani e do centro de gravidade para defuzzificação, com base nas condições avaliadas para a área degradada em estudo, o

FIS de apoio ao planejamento do uso futuro resultou na saída *crisp* com valor '0,099', equivalente a alternativa de 'Revegetação', com nível de confiança 'Muito Baixo'.

Assim, verifica-se uma saída coerente com a esperada, pois o sistema construído com tendência conservacionista recomendou a revegetação, entretanto, como se trata de uma área pequena e com efeito de borda significativo, estes aspectos refletiram em um nível confiança baixa nesta recomendação.

Neste caso particular, outros fatores poderiam ser considerados com a finalidade de reforçar esta confiança, como a importância ecológica por se tratar de uma área especialmente protegida, ou mesmo rejeitar a recomendação dada pelo sistema, se fosse o caso de prevalecer uma demanda por regularização fundiária sustentável.

Nesse sentido, a construção do sistema concebido de forma a gerar saídas com diferentes níveis de confiança, sobretudo quando está for baixa ou muito baixa, visa proporcionar uma referência para que o tomador de decisão considere, ou não, outros critérios além daqueles contemplados no sistema de apoio ao planejamento do uso futuro.

Portanto, não se trata de um sistema tomador de decisões, mas sim, um sistema de auxílio à decisão como se pretendia neste estudo, razão pela qual se consideram satisfatórios os resultados alcançados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento do uso futuro é uma diretriz norteadora para recuperação de áreas degradadas (RAD). Entretanto, a seleção entre as alternativas requer uma avaliação integrada de dados que, na ausência de um procedimento lógico estruturado, pode ser comprometida pela influência limitada à visão dos técnicos envolvidos e uma série de outros fatores.

Nesse contexto, o presente estudo apresentou uma proposta de apoio ao planejamento do uso futuro na RAD, que foi aplicada em uma cava de extração mineral, situada no Instituto Agrônomo de Campinas, unidade de Jundiaí/SP. Para isso, foi elaborado

um sistema de inferência fuzzy (*Fuzzy Inference System* - FIS), cuja base de regras foi construída a partir de ponderadores gerados com uso da técnica de processo analítico hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP).

A conectividade florestal, a extensão da área e o efeito de borda, foram selecionados como critérios modelados como conjuntos fuzzy de entrada, considerando sua importância para autosustentabilidade da área. Os conjuntos fuzzy de saída foram compostos pelas recomendações de uso, representadas pelas alternativas de revegetação e redesignação.

Como resultado, a utilização do FIS possibilitou a integração de parâmetros com natureza diversa (tanto qualitativa, quanto quantitativa), métricas distintas (área, índice de circularidade e distância) e que não possuem limites rígidos no ambiente. A utilização da AHP proporcionou uma base de regras fuzzy formulada a partir de julgamentos consistentes, favoreceu a coerência lógica no relacionamento entre conjuntos, assim como a classificação das saídas em recomendações com diferentes níveis de confiança.

Assim, a partir da condição avaliada para os critérios considerados, sua aplicação na área de estudo apontou para revegetação como alternativa mais recomendada, prevalecendo a influência de sua boa conectividade florestal

(fragmentos a partir de 120m). Contudo, tratando-se de uma área pequena (1,88 ha) e com efeito de borda significativo (0,65 como índice de circularidade), o sistema acusou um baixo nível de confiança nesta recomendação.

Dessa forma, verifica-se uma saída coerente com a esperada e que proporciona uma referência satisfatória para que o tomador de decisão aceite ou rejeite a recomendação dada pelo sistema de apoio, considerando outros critérios além daqueles contemplados na proposta. Os resultados alcançados atenderam ao objetivo do estudo, mas com potencial de aprimoramento com avanço nas pesquisas, tal como a inclusão de critérios complementares e o refinamento dos domínios e funções de pertinência modeladas.

REFERÊNCIAS

1. BARIN, A.; CUNHA, L.N.; MAGNAGO, K.F.; ABAIDE, A.R. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica fuzzy. **Revista Controle & Automação**, v. 21, n. 5, p.477-486, 2010.
2. BARROS, L. & BASSANEZI, R. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. Campinas/SP: Textos Didáticos, 354p., 2006.
3. BORGES, L.F.R.; SCOLFORO, J.R.; OLIVEIRA, A.D. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.
4. CANAVESE, D.; ORTEGA, N.R.S.; GIATTI, L.L. Ecosystem approach and the Fuzzy logic: a dialectical proposal for information on Environmental Health. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.17, n.4, p.363-368, 2012.
5. CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas: Jundiá**. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_296.html. Acesso em: 21 jun, 2014.
6. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 429 de 2011**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=644>. Acesso em: 21 jun, 2014.
7. CONELISSEN, A.M.G.; VAN DER BERG, J.; KOOPS, W.J.; GROSSMAN, M.; UDO, H.M.J. Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory. **Agr. Ecosys. Environ.**, v.86, n. 2, p. 173-185, 2001.
8. FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global Forest Resources Assessment: Main report**. Rome: FAO. 378 p., 2010.
9. FERREIRA, G.L.B.V. & FERREIRA, N.B.V. Exploração mineraria e a recuperação de áreas degradadas. **Âmbito Jurídico**, v.11, n. 51, p. 1-4, 2008.
10. GABRIEL FILHO, L.R.A.; CREMASCO, C.P.; GABRIEL, L.R.A.; ROMANINI, P.A.; GABRIL, J.E.F. Determinação das funções de pertinência dos índices de qualidade da água e de substâncias tóxicas e organolépticas. **Colloquium Exactarum**, v. 1, p. 46-55, 2009.
11. HALL, C.A.S. & DAY JUNIOR, J.W. Revisiting the limits to growth after peak oil. **American Scientist**, v. 97, p.230-237, 2009.
12. HASUI, Y.; SOARES, A.A.T.L.; CSORDAS, S.M. Geologia e tectônica da Serra do Japi. **Boletim do Instituto de Geociências**, v. 9, p.17-24, 1978.
13. IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília: IBAMA, 96p., 1990.
14. IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Instrução Normativa 4 de 2011**. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/supes_go/in_04_11_prad.doc Acesso em: 11 abr. 2014.
15. ICAGA, Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. **Ecol. Indic.**, v. 7, n. 3, p. 710-718, 2007.
16. IF - INSTITUTO FLORESTAL. **Sistema de informações florestais do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/tabelas/tabbaciariopiracicapjund1.pdf?opcoes=tabbaciariopiracicapjund1.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2014.
17. IF - INSTITUTO FLORESTAL. **Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**. Disponível em: www.iflorestal.sp.gov.br/rbcv/index.asp. Acesso: 10 jun. 2014.
18. JANSSEN, J.A.E.B.; KROL, M.S.; SCHIELEN, R.M.J.; HOEKSTRA, A.Y.; KOK, J.L. Assessment of uncertainties in expert knowledge, illustrated in fuzzy rule-based models. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 1245-1251, 2010.
19. JESUS, N. & RUEDA, J.R.J. Compartimentação do meio físico da área da Serra do Japi em zonas de fragilidade quanto à degradação ambiental. **GEOUSP Espaço e Tempo**, n. 11, p. 85-100, 2002.
20. KAGEYAMA, P. & GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H. (coordenadores). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: USP, p. 2-24, 2000.
21. KAHRAMAN, C. & KAYA, I. A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 6270-6281, 2010.
22. LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMOTOV, M.; MACHADO, M.S. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed Brazil. **Ecological Indicators**, v.9, p.1188-1197, 2009.

23. MENDOZA, G.A. & PRABHU, R. Fuzzy methods for assessing criteria and indicators of sustainable forest management. **Ecol. Indic.**, n.3, p. 227-236, 2003.
24. MENEZES, M.D.; SILVA, S.H.G.; OWENS, P.R.; CURI, N. Digital soil mapping approach based on fuzzy logic and field expert knowledge. **Ciência e Agrotecnologia**, n.37, p.287-29, 2013.
25. METZGER, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n. 3, p. 445-463, 1999.
26. MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução 05 de 2009**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-somos/in052009.pdf>. Acesso em: 21 jun, 2014.
27. NEVES, M.A. **Evolução Cenozóica da Região de Jundiá (SP)**. Rio Claro, 1999, 125p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
28. NEVES, M.A.; MORALES, N.; BORGES, M.S.; EBERT, H.D. Compartimentação morfotectônica da região de Jundiá (SP). **Rev. Brasileira de Geociências**, v. 32, n.2, p. 167-176, 2003.
29. PAULA, B.L. & CERRI, L.E.S. Aplicação do processo analítico hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeverica da Serra e Suzano (SP), **Geociências**, v. 31, n. 2, p. 247-257, 2012.
30. RIBEIRO, A.I.; PECHE FILHO, A.; MEDEIROS, G.A., LONGO, R.M.; STORINO, M.; FENGLER, F.H.; KELLER, E.M.L.; RAPP, J.Z.; FREITAS, E.P. Environmental diagnosis in areas with different use and occupation using the perception of diverse biological activity. **WIT Transactions on ecology and the environment**, v.162, p.129-136, 2012.
31. RICCIARDI, C.T.R. & SANCHES, E.S. Reabilitação e novo uso de áreas mineradas: um apanhado de alguns casos em São Paulo. **Areia & Brita**, n. 27, p. 26-34, 2004.
32. RIEDLER, C. & JANDL, R. Identification of degraded forest soils by means of a fuzzy-logic based model. **Plant Nutrition Soil Science**, n. 165, p. 320-325, 2002.
33. ROSS J.L.S. & MOROZ I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. v. 1 (relatório). São Paulo: FFLCH-USP / IPT / FAPESP, 64p., 1997
34. ROSS, T.J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 3ed. Oxford: Wiley, 606p., 2009.
35. SAATY, T.L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Math. Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.
36. SAATY, T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. The Institute for Operations Research and the Management Sciences. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p.19-43, 1994.
37. SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resolução 32 de 2014**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-sma-32-2014/>. Acesso em: 21 jun, 2014.
38. SHAW, I.S. & SIMÕES, M.G. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Edgard Blucher, 164p, 2001.
39. SILVERT, W. Ecological impact classification with fuzzy sets. **Ecological Modelling**, v. 96, p. 1-10, 1997.
40. SILVERT, W. Fuzzy indices of environmental conditions. **Ecological Modeling**, v. 130, p. 111-119, 2000.
41. SMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resolução SMA 32 de 2014**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-sma-32-2014/>. Acesso em: 10 jun, 2014.
42. UN - UNITED NATIONS. **Our Common Future**: Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press. 416 p., 1987.
43. VAIDYA, O.S. & KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n.1, p.1-29, 2006.
44. YILMAZ, I. Fuzzy evaluation of water quality classification. **Ecological Indicators**, v.7, p. 710-718, 2007.
45. ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.
46. ZADEH, L. A. Is there a need for fuzzy logic? **Information Sciences**, v.178, n.13, p.2751-2779, 2008.

*Manuscrito recebido em: 12 de Setembro de 2014
Revisado e Aceito em: 08 de Janeiro de 2015*