

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**UTILIZAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* NA GERAÇÃO DE
ZONAS DE MANEJO**

FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
MAIO - 2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

UTILIZAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* NA GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA

Tese apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Julião Soares
de Souza Lima

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
MAIO - 2014**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Oliveira, Fabricia Benda de, 1978-
O48u Utilização da lógica *fuzzy* na geração de zonas de manejo / Fabricia Benda de Oliveira. – 2014.
106 f.: il.

Orientador: Julião Soares de Souza Lima.
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Mamoeiro. 2. Krigagem. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. Unidade de conservação. I. Lima, Julião Soares de Souza. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 63

FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA

UTILIZAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* NA GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Aprovada: 30 de maio de 2014.

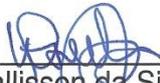
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof.ª Dr.ª Maria da Glória Alves
Universidade Estadual do Norte Fluminense



Prof. Dr. Wallisson da Silva Freitas
Instituto Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Alexandre Candido Xavier
Universidade Federal do Espírito Santo

Aos meus pais Luiz Carlos Benda (in memoriam) e Devanilda Bulian Benda, e ao meu esposo Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira, exemplos de amor, carinho, confiança, incentivo e dedicação irrestrita.

DEDICO

A Deus que ilumina todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, pelo amor incondicional e pela vida.

Ao meu esposo Carlos Henrique, pelo amor, amizade e apoio.

Aos meus sobrinhos Lucas, Fillipe e Bianca e a minha irmã Patrícia, pelo incentivo.

AGRADEÇO

“...pois a virtude dos mapas é essa, exibem a redutível disponibilidade do espaço,
previnem que tudo pode acontecer nele e acontece.”

José Saramago em Jangada de Pedra.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda
pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

“Penso 99 vezes e não descubro nada. Deixo de pensar, mergulho no silêncio, e a
verdade é-me revelada.”

Albert Einstein

“Nenhum homem realmente produtivo pensa como se estivesse escrevendo uma
dissertação.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte de viver e do saber.

À minha família, por me ensinar princípios e ser a base da minha vida.

Aos meus pais, por tantos momentos de ausência, agradeço a compreensão, a vida e a educação oferecida.

Ao meu marido Carlos Henrique, que sempre esteve ao meu lado, mesmo nos momentos mais difíceis, incentivando-me e me dando forças para continuar, pelo amor, carinho, paciência, companheirismo e compreensão.

Ao Professor Julião Soares de Souza Lima, pelo grande apoio em minha caminhada acadêmica, pela confiança, amizade e participação irrestrita na execução desse trabalho, além dos valiosos ensinamentos.

Aos Professores Alexandre Cândido Xavier, Maria da Glória Alves e Wallisson da Silva Freitas, pelas contribuições, sugestões e apoio na elaboração deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo financiamento do trabalho.

Aos amigos, companheiros de estudos pela madrugada, Walas Permanhane Sturião e Paulo Roberto da Rocha Junior, pelos esclarecimentos, paciência, incentivo, e pela valiosa contribuição.

À Erica Munaro, gestora do Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, pela contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial, ao Programa de pós-graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso. E

ao Departamento de Geologia, pelo incentivo, principalmente aos amigos Caio Vinicius Gabrig Turbay, Cláudio Lana, Felipe Guadagnin e Mirna Neves.

Aos estudantes Igor Oliveira Ribeiro, Lomanto Zogaib, Maiara Rodrigues e Reinaldo Baldotto, pela ajuda.

Às secretárias da pós-graduação Madalena Caetana Capucho e Alessandra Cavalho, pela ajuda de sempre.

BIOGRAFIA

FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA, filha de Luiz Carlos Benda e Devanilda Bulian Benda, nasceu em Colatina, Estado do Espírito Santo, em 19 de abril de 1978.

Em 1994, ingressou no curso técnico em Edificações, na então Escola Técnica Federal do Espírito Santo (ETFES), hoje Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), em Colatina-ES, formando-se em 1998.

Em 2000, iniciou o curso de graduação em Engenharia de Agrimensura, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, graduando-se em 2005.

Em 2005, iniciou o curso de mestrado em Engenharia Civil, na área de concentração Geotecnia, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes-RJ, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2008.

Em 2007, foi aprovada no concurso público para Engenheira Agrimensora, no Instituto de Terras do Estado de Minas Gerais (ITER-MG), onde trabalhou como Analista de Desenvolvimento Rural até 2009.

Em 2009, atuou como professora do ensino técnico para os cursos de Estradas e Transporte e Trânsito, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), em Belo Horizonte-MG.

Ainda em 2009, foi aprovada no concurso público para professora, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias (CCA), em Alegre-ES, ingressando na área de Geomática, onde atua até hoje.

Em 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal,

em nível de Doutorado, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias (CCA), em Alegre-ES.

Em 2011, ingressou no programa de pós-graduação *lato sensu* em Informática na Educação, no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), em Cachoeiro de Itapemirim-ES, concluindo o curso em 2013.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Análise de dados espaciais.....	4
2.1.1 Clusterização baseada em algoritmos <i>Fuzzy</i>	5
2.1.2 Utilização de lógica <i>Fuzzy</i> na análise estratégica de decisão (Análise multicritério).....	7
2.2 Uso de lógica <i>fuzzy</i> na agricultura.....	9
2.3 Gestão de Unidades de Conservação.....	10
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
4 REFERÊNCIAS.....	13

CAPÍTULO I

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO PARA A CULTURA DO MAMOEIRO, CONSIDERANDO ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, ATRAVÉS DO ALGORITMO <i>FUZZY C-MEANS</i>	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
1 INTRODUÇÃO.....	22
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28

3.1 Análise descritiva e geoestatística	28
3.2 Zonas de manejo obtidas pelo método FCM.....	33
4 CONCLUSÕES.....	38
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

CAPÍTULO II

DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS AO USO PÚBLICO NO PARQUE ESTADUAL DA CACHOEIRA DA FUMAÇA-ES UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO.....	46
RESUMO	46
ABSTRACT:	47
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 Caracterização da área de estudo	50
2.2 Material	51
2.3 Procedimentos técnicos	52
2.3.1 Critérios escalonados (fatores).....	52
2.3.2 Avaliação de pesos para os critérios.....	52
2.3.3 Normalização dos fatores.....	53
2.3.4 Combinação dos critérios	55
3 RESULTADOS.....	56
4 DISCUSSÃO.....	57
5 CONCLUSÃO	59
6 AGRADECIMENTOS.....	60
7 REFERÊNCIAS	60

CAPÍTULO III

APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO E LÓGICA <i>FUZZY</i> PARA A CRIAÇÃO DE ZONEAMENTO NO PARQUE ESTADUAL DA CACHOEIRA DA FUMAÇA-ES PARA FINS DE CONSERVAÇÃO	63
RESUMO	63
ABSTRACT	64
1 INTRODUÇÃO.....	66
2 MATERIAL E MÉTODOS	67
2.1 Material	67
2.2 Métodos.....	67
2.2.1 Fatores utilizados	68
2.2.1.1 Justificativas para normalização dos fatores	70

2.2.2 Avaliação de pesos para os Fatores	72
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4 CONCLUSÃO	77
5 AGRADECIMENTOS.....	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
4 CONCLUSÕES GERAIS.....	81
APÊNDICES	
APÊNDICE A.....	83
APÊNDICE B.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty.....	9
---	---

CAPÍTULO I

Tabela 1I - Análise estatísticas descritivas dos valores de P, Ca, Mg, K e V%.	28
Tabela 2I - Faixa considerada satisfatória (FS) para os atributos analisados, na cultura do mamoeiro.....	28
Tabela 3I - Correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre atributos químicos do solo na camada de 0-0,20m.....	31
Tabela 4I - Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos estudados.	31
Tabela 5I - Média dos agrupamentos para análise com três classes, pelo algoritmo FCM, dos atributos P, Ca, Mg e V%.	36
Tabela 6I - Média dos agrupamentos para análise com três classes, pelo algoritmo FCM, dos atributos Ca-Mg, Ca-V, P-Ca, P-Mg, P-V e Mg-V.	36
Tabela 7I - Média dos agrupamentos para análise com três classes, pelo algoritmo FCM, dos atributos Ca-Mg-V, P-Ca-Mg, P-Ca-V e P-Ca-Mg-V.	36

CAPÍTULO II

Tabela 1II - Normalização das classes de uso do solo.....	54
---	----

CAPÍTULO III

Tabela 1III - Normalização das classes de uso do solo.....	70
Tabela 2III - Matriz de comparação dos critérios escalonados.....	74

Tabela 3III - Resultado final dos pesos calculados para os fatores.....	74
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das áreas de estudo.....12

CAPÍTULO I

Figura 1I - Malha amostral elaborada para amostragem dos atributos de solo. 25

Figura 2I - Mapa de agrupamento utilizando o algoritmo *Fuzzy C-means*, dos atributos do solo P, Ca, Mg, V%, Ca-Mg, Ca-V% e Ca-Mg-V%. 34

Figura 3I - Mapa de agrupamento utilizando o algoritmo *Fuzzy C-means*, dos atributos do solo P-Ca, P-Mg, P-V%, P-Ca-Mg, P-Ca-V%, Mg-V% e P-Ca-Mg-V%.
..... 35

CAPÍTULO II

Figura 1II – Ortofoto do Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça. 51

Figura 2II - Função de pertinência sigmoidal monotônica decrescente para padronização dos fatores. 53

Figura 3II - A) Fator declividade; B) Fator estruturas; C) Fator acesso; D) Fator trilhas; E) Fator massa de água; e F) Fator cachoeira..... 57

Figura 4II - Mapa final da análise multicritério com áreas mais aptas ao ecoturismo dentro do parque Estadual da Cachoeira da Fumaça.....59

CAPÍTULO III

Figura 1III - A) Função de pertinência sigmoidal monotônica crescente para padronização do fator declividade; e B) Função de pertinência sigmoidal

monotônica decrescente para padronização dos fatores: trilhas, massa de água, estruturas, cachoeira e acesso.....	71
Figura 2III - A) Mapa do fator acesso; B) Mapa do fator declividade; C) Mapa do fator cachoeira; D) Mapa do fator massa de água; E) Mapa do fator estruturas do parque; e F) Mapa do fator trilhas.....	73
Figura 3III - Mapa da análise multicritério com fins de conservação, indicando as áreas mais aptas a projetos de conservação.	76

APÊNDICES

Apêndice A - Semivariogramas ajustados aos atributos em estudo.....	83
Apêndice B - Validação cruzada.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process* – Processo de Hierarquização Analítica

ES – Espírito Santo

FAPES – Fundação de apoio à pesquisa e inovação do Espírito Santo

FCM – *Fuzzy C-means*

FPI – *Fuzziness Performace Index* - Índice de Performance *Fuzzy*

GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo

GPS – *Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDAF – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo

MPE – *Modified Partition Entropy* - Entropia da Partição Modificada

PECF – Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SNUC – Sistema Nacional de unidade de Conservação

UC – Unidade de conservação

RESUMO

OLIVEIRA, Fabricia Benda de, D. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, maio de 2004. **Utilização de lógica *Fuzzy* na geração de zonas de manejo.** Orientador: Julião Soares de Souza Lima.

Este trabalho teve como objetivo utilizar a lógica *fuzzy* para geração de zonas de manejo, na área agrária e ambiental. Uma das aplicações consistiu da utilização do método *fuzzy C-means*, para geração de zonas de manejo para a cultura do mamoeiro, em um plantio comercial localizado em São Mateus-ES, com base em determinações realizadas através de amostragens e análises químicas do solo, considerando os atributos: P, K, Ca, Mg, e Saturação por bases (V%). Aplicou-se também a lógica *fuzzy* para desenvolver e executar um procedimento para dar suporte ao processo de tomada de decisões, envolvendo análise multicritério, gerando mapas de adequabilidade ao uso público e a conservação no Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, no município de Alegre-ES, considerando como fatores a localização da cachoeira, o uso do solo, os recursos hídricos, as trilhas, os locais de acessos, a infraestrutura, a declividade da área, e utilizando a abordagem de Sistema de Informações Geográficas para análise e combinação da base de dados. A partir das zonas de manejo geradas, foi possível explicar a variabilidade espacial dos atributos do solo na área de estudo da cultura do mamoeiro, e observa-se que as similaridades entre as zonas geradas, a partir de diferentes atributos, mostrou variação, mas observa-se uma influência nos dados, principalmente pelos atributos P e V. A partir do zoneamento da Unidade de Conservação foi possível selecionar áreas mais aptas ao ecoturismo, sendo

encontradas próximas da cachoeira, trilhas em zonas de reflorestamento e de Mata Atlântica. Quanto às áreas propensas a medidas de conservação localizam-se próximas à cachoeira e às estruturas do parque, devido à maior pressão antrópica exercida nesses locais. Outras áreas que se destacaram, foram as áreas de pastagem, por estarem em estágio de regeneração natural. Os resultados indicam áreas de mesmo potencial de produção do mamoeiro, ou quando aplicado à área ambiental, áreas que devem receber maior cuidado para utilização por ecoturismo e para preservação e servem de base para a tomada de decisões, visando melhor aproveitamento da área.

Palavras-chave: Mamoeiro. Krigagem. Parque. Unidade de conservação. Análise multicritério.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Fabricia Benda de, D. Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, May 2004. **Use of *Fuzzy* logic to generate management zones.** Advisor: Julião Soares de Souza Lima.

This study aimed to use *fuzzy* logic to generate management zones, the land and the environment. One application was the application of the *fuzzy C-means* method for generation of management zones for the papaya crop, in a commercial orchard located in São Mateus-ES, based on determinations made by sampling and chemical analysis of soil, considering the attributes: P, K, Ca, Mg, and base saturation; also applied to *fuzzy* logic to develop and implement a procedure to support the decision-making process involving multiple criteria analysis, generating maps of suitability for public use and conservation in the Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, considering factors such as the location waterfall, land use, water resources, trails, local access, infrastructure and declividade of the area, and using the approach of geographic information system for analysis and database combination. From the management zones generated, it was possible to explain the spatial variability of soil properties in the study area of the papaya crop, and it is observed that the similarities between zones generated from different attributes, showed variation, but can observe a trend in the data, particularly attributes influenced by P and V%. From the zoning of the Conservation Unit was able to select the most suitable for the ecotourism areas, being found near the waterfall, trails in areas for reforestation and Atlantic Forest. Regarding conservation measures likely to be located next to the waterfall and the structures of the park due

to increased anthropogenic pressure on these local areas. Other areas that stood out were grazing areas, being in regeneration. The results indicate areas of potential production or even when applied to the environmental area, areas that should receive greater care for on ecotourism and conservation and serve as a basis for making decisions aimed at better utilization of the area.

Keywords: Papaya. Kriging. Park. Conservation área. Multicriteria analysis.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A necessidade de intensificação da produção agrícola e a conservação dos recursos naturais requerem o conhecimento detalhado das características da paisagem de forma organizada e estruturada. Os Sistemas Informação Geográfica (SIG) atuam como uma ferramenta que auxilia na gestão das informações ambientais, trazendo vantagens do ponto de vista organizacional. Muitas atividades relacionadas ao planejamento ambiental são facilmente gerenciadas em um SIG, dentre as quais podemos citar a simulação da realidade do espaço geográfico, integração das informações espaciais ou geração de mapas (BALL, 1994).

Os SIG foram desenvolvidos para apresentar os dados em diferentes níveis de detalhe, possibilitando a obtenção de uma infinidade de combinações entre eles e comparações entre diferentes alternativas de ação. Pode acontecer de uma única técnica não ser suficiente para todas as situações apresentadas e nem definir as limitações para vários ambientes, podendo-se aplicar variadas técnicas conjuntamente, de forma eficiente e rápida, pois, é uma ferramenta poderosa que permite transformar dados em informações, e se tomar decisões a partir do conhecimento.

O advento do uso do SIG na área agrícola e ambiental beneficia o gerenciamento das unidades de produção florestal, possibilitam a geração de bancos de dados, de acordo com uma única base cartográfica, o que permite efetuar avaliações, análises espaciais e simulações em função de variáveis como pedologia, declividade, geologia, fertilidade, irrigação, produtividade, etc., subsidiando tomadas de decisão técnicas e administrativas, de viabilidade, implantação, condução,

colheita, manejo, exploração e monitoramento a serem implantadas (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000; BECKER, 2001; RIBEIRO, 2002).

Dentre as técnicas de gerenciamento de dados espaciais utilizando SIG, temos a geração de zonas de manejo, seja para a aplicação em áreas agrícolas ou ambientais, que têm se fortalecido e vários trabalhos têm sido feitos aplicando essas técnicas, havendo aumento na geração da informação básica sobre essa questão, fornecendo subsídios para a identificação, ou para a correlação das variáveis que afetam a produtividade, por meio da sobreposição, cruzamento e regressão de mapas digitais do relevo, atributos do solo e capacidade produtiva dos povoamentos (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000).

Vários estudos têm sugerido a adoção de manejo “não homogêneo” para algumas atividades do meio ambiente (SCHMIDT et al., 2000), que se baseiam no detalhamento da informação em agrossistemas, obtido através da aplicação de processos de monitoramento, georreferenciado e integração de variáveis de solo, planta e clima (STEWART e MCBRATNEY, 2000; PLANT, 2001), através de técnicas de geoprocessamento aliadas a modelos fuzzy.

Luchiari et al. (2000) mostraram que a divisão de uma área em sub-áreas homogêneas, denominadas zonas de manejo, é eficiente para definir a dinâmica de uma lavoura e o uso sustentável de solo, com aplicação diferenciada de insumos.

Modelos fuzzy têm sido utilizados para sistemas de controle pela detecção da similaridade entre membros de uma coleção de objetos (WINDHAM, 1982; ATECA et al., 2001). Fridgen et al. (2000) delinearão zonas de manejo utilizando fuzzy C-means, em dados de condutividade elétrica aparente, elevação e declividade de duas áreas. O número de zonas foi determinado levando-se em conta a redução na variância da produção de grãos e as medidas de desempenho dos agrupamentos.

Assim, considerando o exposto, o presente trabalho teve como objetivos:

- gerar zonas de manejo, visando diminuir a amostragem da área, através do método Fuzzy C-means, para a cultura do mamoeiro, com base em determinações realizadas através de amostragens e análises químicas do solo, considerando os atributos: P, K, Ca, Mg e V;
- desenvolver e executar um procedimento para dar suporte a processos de tomadas de decisões, utilizando Sistemas de Informação Geográfica, envolvendo análise

multicritério, gerando mapas de adequabilidade ao uso público e a conservação, no Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, considerando como fatores a localização da cachoeira, o uso do solo, os recursos hídricos, as trilhas, os locais de acessos, a infraestrutura e a declividade da área.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Análise de dados espaciais

Segundo Druck et al. (2004), a distribuição espacial de fenômenos ocorridos no espaço e sua compreensão constitui uma ferramenta que auxilia em diversas questões nas mais diversas áreas do conhecimento. Devido à disponibilidade de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de dados, aliado ao baixo custo, esses sistemas têm se tornado cada vez mais comuns, pois além da distribuição espacial do problema, podem traduzir padrões existentes na distribuição dos dados. Combinando, manipulando e aplicando técnicas matemáticas, estatísticas, etc., em dados diversos e utilizando a espacialização dos dados, é possível obter conclusões adicionais acerca do problema estudado (CARVALHO e CRUZ, 1998).

De acordo com Butler e Walsh (1998), os SIG são ferramentas de gestão ambiental importantes, principalmente na caracterização da paisagem e na análise de escalas, padrões e processos, e seu uso vem se tornando cada vez mais acessível.

Dentre as técnicas de SIG, a análise espacial tem a finalidade de escolher um modelo inferencial considerando o relacionamento espacial do fenômeno, através de um conjunto de procedimentos.

Muitos autores vêm trabalhando com técnicas de análise de dados espacial, nas mais diversas áreas do conhecimento, entre eles podemos citar: Chao (1998) estudou a dinâmica urbana e os riscos geológicos da província “Ciudad de la Habana”, em Cuba; Da Costa e Cintra (1999) aplicaram técnicas de SIG para estudar as áreas de risco na região metropolitana de Belo Horizonte, elaborando um

banco de dados geográfico, destinado ao planejamento territorial; CBH-AT (2002) utilizou SIG no gerenciamento de bacias hidrográficas; Zambon et al. (2005) estudaram a localização de usinas termoeletricas através de análise multicritério; Freitas et al. (2006) aplicaram a metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais; Januzzi et al. (2009) aplicaram análise multicritério para tomar decisões em políticas públicas; Vieira et al. (2010) estudaram a variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso em vegetação natural e cultura anual; Rodrigues Junior et al. (2011) geraram zonas de manejo para cafeicultura empregando sensor SPAD e análise foliar; Carvalho et al. (2012) analisaram a produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo, visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo; Barbosa et al. (2012) aplicaram técnicas de geoprocessamento e de análise multicritério na adequação do uso das terras no município do Conde (PB); Franco et al. (2013) definiram áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente, no noroeste paulista, usando análise multicritério; Silva et al. (2014) utilizaram a análise multivariada para diferenciação entre manejos orgânico e convencional do solo cultivado com café, por meio da análise de componentes principais e geoestatística.

2.1.1 Clusterização baseada em algoritmos *Fuzzy*

Quando temos grande quantidade de dados para utilizarmos em uma análise, podemos classificá-los ou agrupá-los em categorias ou grupos. Embora haja divergência quanto à definição de clusterização, muitos autores a descrevem como a tarefa de formar grupos, considerando a similaridade interna e a separação externa (JAIN e DUBES, 1998; JAIN et al., 1999; GORDON, 1999; DUDA et al., 2000; HAN e KAMBER, 2001; BERKHIN, 2002; XU e WUNSCH, 2005). Segundo Linden (2009), a análise de agrupamento, ou *clustering*, tem o propósito de separar objetos em grupos, baseando-se nas características que os objetos possuem. A ideia básica consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado.

Zonas de Manejo são sub-regiões que possuem fatores limitantes de produtividade semelhantes (DOERGE, 1999; KHOSLA e SHAVER, 2001). Auxilia na tomada de decisões e planejamento do manejo da cultura e podem ser utilizadas diversas técnicas que envolvem o uso de algoritmos, para separar os dados

coletados de uma dada área de amostragem em um número de grupos pré-definidos, apresentando características semelhantes.

Existe a possibilidade de gerar o agrupamento, considerando a pertinência de cada valor associado a cada classe, sendo recomendado para esse uso a clusterização *fuzzy* (YANG, 1993; BEZDEK e PAL., 1992). Essa abordagem permite associar um indivíduo com todos os *clusters* usando uma função de pertinência (ZADEH, 1965). Assim, os conjuntos *fuzzy* oferecem a vantagem de expressar cada indivíduo parcialmente a todos os grupos. Entre os algoritmos *fuzzy*, o mais popular é o *Fuzzy C-means* (FCM). Essa abordagem para a classificação FCM minimiza a soma de quadrados dentro de classe.

Muitos trabalhos aplicando agrupamentos *fuzzy* têm sido desenvolvidos, principalmente para geração de zonas de manejo agrícola, dentre esses, podemos citar:

- Geração e análise da concordância entre de zonas de manejo baseada em determinações realizadas com sensor de clorofila, em plantios de cafés, utilizando os métodos de classificação não-supervisionada *C-means* e *fuzzy C-means*, encontrando acertos de 18 a 39% para o *C-means* e 18 a 38% para *fuzzy C-means* (RODRIGUES, 2008).
- Molin e Castro (2008) definiram zonas de manejo com base em condutividade elétrica aparente do solo utilizando o método *fuzzy C-means*, distância euclidiana e coeficiente *fuzzy* igual a 1,2 e para determinar o número ótimo de zonas de manejo utilizaram os índice de performance *fuzzy* (FPI) e entropia da partição modificada (MPE), concluindo que o método resolveu com sucesso o delineamento das zonas de manejo.
- Morari et al. (2009) utilizaram o método *fuzzy C-means* para definir zonas de manejo baseadas em condutividade elétrica aparente do solo para vinicultura de precisão. Definiram o número ótimo de classes através do índice de performance *fuzzy* (FPI) e da entropia da partição modificada (MPE), e concluíram que a definição de zonas de manejo é altamente desejável em vinicultura de precisão, pois a combinação entre mapas interpolados pela técnica de geoestatística e classificação pelo método *fuzzy C-means* é uma forma eficaz para delinear zonas de manejo de forma automática.

- Pedroso et al. (2010) compararam um algoritmo de segmentação e o *C-means* e constataram que não há dúvidas que os algoritmos *C-means* e *fuzzy C-means* expliquem a variância para uma ou mais variáveis. Porém, apresentam algumas limitações, como: não há restrições no algoritmo para gerar sempre classes contínuas; apresentam uma carência de um real indicador para se determinar o número ideal de classes, necessitando de análises adicionais e intervenção de um especialista; e necessitam de uma grade regular em análises multivariadas.

- Costa (2011) usou a geoestatística e a lógica *fuzzy* para estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade e da fertilidade do solo em 3 safras de café conilon, em Cachoeiro de Itapemirim (ES). A análise quantitativa por meio dos mapas possibilitou observar que os níveis de produtividade e fertilidade do solo apresentaram regiões com alternância de valores entre as safras. A classificação *fuzzy* auxiliou na tomada de decisão para definição de zonas de aplicação de insumos na área.

2.1.2 Utilização de lógica *Fuzzy* na análise estratégica de decisão (Análise multicritério)

A análise estratégica de decisão ou análise multicritério tem como objetivo proceder à determinada avaliação de aptidão, combinando diversas variáveis interativas, as quais são chamadas de critérios, que por sua vez, se classificam em fatores ou restrições. Um fator realça ou diminui a adequabilidade de uma alternativa específica, para uma atividade ou objetivo, e geralmente usa-se a lógica *fuzzy* para sua normalização. As restrições são limitadoras das alternativas em consideração, e utiliza-se a lógica booleana na sua concepção. O procedimento e a forma para escolha dos critérios e a metodologia para combiná-los são denominados regras de decisão (EASTMAN et al., 1995; EASTMAN, 1997; BENDA et al, 2012).

Os conjuntos *fuzzy* definem os fatores, através da transição entre membros e não membros de uma localização, havendo uma variação gradual dos valores da imagem de 0 a 255, indicando um aumento contínuo de não membro a membro completo. Ao contrário das restrições, onde se utiliza a lógica booleana, que é rígida, e a condição de pertinência ou não pertinência é abrupta, havendo apenas duas possibilidades bem definidas, 0 ou 1 (CALIJURI, 2000; CALIJURI e LORENTZ, 2003).

A análise multicritério combina fatores e restrições e o procedimento multiplica os mapas de adequabilidade referentes a cada fator por um peso específico e faz-se o somatório de todos esses fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade. Quando se utilizam mapas de restrições (booleanos), multiplica-se a adequabilidade calculada por meio da combinação de fatores pelo produto das restrições (EASTMAN et al., 1995).

A padronização dos critérios é um processo de conversão dos valores dos dados originais, a fim de compatibilizá-los entre si, ou seja, padronizá-los para uma mesma escala de valores. E a lógica *fuzzy* tem a função de padronizar os fatores que são expressos em uma escala, em outros que após convertidos poderão ser comparados. Várias funções de pertinência *fuzzy* podem ser utilizadas, entre elas, as mais utilizadas são: sigmoidal, j-shaped, linear e definida pelo usuário (ZADEH, 1965; EASTMAN, 1997; CALIJURI, 2000; RAMOS e MENDES, 2001). A função mais usada na teoria dos conjuntos *fuzzy* é a sigmoidal, pois se adapta melhor a dados ambientais (Figura 1III).

Na maioria dos trabalhos aplicados na área ambiental, é utilizada a lógica booleana, por ser mais simples, porém esta apresenta uma falha de 35% quando comparada às análises realizadas utilizando lógica *fuzzy* (CHARNPRATHEEP e GANER, 1996). Assim, trabalhos aplicando à lógica *fuzzy* na área ambiental são escassos e demonstram resultados mais compatíveis com a realidade da área de estudo.

Para obtenção dos mapas finais, os fatores são combinados pelo procedimento da combinação linear ponderada, onde cada fator é multiplicado por um peso específico e em seguida faz-se o somatório de todos esses fatores, obtendo-se um valor final de adequabilidade. Quanto se utiliza restrições, ou seja, mapas booleanos, o procedimento é alterado multiplicando-se a adequabilidade calculada por meio da combinação dos fatores pelo produto das restrições (EASTMAN et al., 1995).

Para correlacionar os fatores, utilizou-se o método de comparação par a par, com a escala fundamental proposta por Saaty (1980), demonstrada na Tabela 1, que varia de 1 a 9.

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty.

Valor	Importância	Decisão a ser considerada
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

2.2 Uso de lógica *fuzzy* na agricultura

A lógica *fuzzy* tem sido utilizada na agricultura para dar suporte à tomada de decisões e entre essas aplicações pode-se citar: Kavdir e Guyer (2003) utilizaram a lógica *fuzzy* para classificar a qualidade de maçãs; Yang et al. (2003) associaram dados de cobertura foliar, obtidos por imagens em três níveis de aplicação localizada de herbicida, utilizando a lógica *fuzzy*; Vargens et al. (2003) fizeram a previsão da produção de cacau, visando desenvolver um sistema mais simples e preciso; Bonisch et al. (2004) aplicaram a lógica *fuzzy* visando acompanhar medidas espaciais de incerteza de atributos do solo; Peixoto et al. (2004) descreveram a interação de pulgões (presas) e joaninhas (predador) na citricultura, através da aplicação de lógica *fuzzy*; Bressan et al. (2006) inferiram o risco de infestação por plantas daninhas, propondo um sistema de classificação utilizando a lógica *fuzzy* krigagem e análise de imagens; Silva et al. (2009) avaliaram a fertilidade do solo utilizando a lógica *fuzzy* e demarcaram áreas com baixa possibilidade de produção da cultura do café; Souza et al. (2009) sugerem que a utilização da lógica *fuzzy* na classificação dos atributos químicos do solo, possibilita suavização dos limites de variação dos teores desses, ao invés de classificar as informações em classes definidas de forma rígida, como na classificação booleana, o que se aproxima mais do comportamento real do atributo em estudo; Silva et al. (2010) utilizaram a Lógica *fuzzy* na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon com base

em atributos químicos do solo; e Rodrigues Junior et al. (2011) geraram zonas de manejo para a agricultura por meio dos métodos *C-means* e *fuzzy C-means*, com base em determinações realizadas com sensor de clorofila e por análise foliar, e avaliaram as zonas de manejo obtidas usando-se os dois métodos de agrupamento.

2.3 Gestão de Unidades de Conservação

A Constituição Brasileira, em seu artigo 225, declara que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, e define que tanto os indivíduos como a coletividade possuem esse direito, e juntamente com o Estado, têm o dever de defendê-lo e preservá-lo. Assim, visando à preservação de espécies vegetais e animais, ou mesmo por outro motivo previsto em lei, o Estado cria uma Unidade de Conservação (UC), que pode ser uma Floresta Nacional, uma Reserva Extrativista ou um Parque Nacional, que são espaços protegidos, e possuem regras próprias de uso e manejo (BENATTI, 1999).

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) um “Parque Nacional tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico” (BRASIL, 2000). Assim, seu uso está sujeito às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo ou regulamento.

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (PECF), localizado nos municípios de Alegre e Ibitirama, no sul do Estado do Espírito Santo, teve sua área original de 24 hectares desapropriada em 1984, no entanto só foi legalmente instituído em 2009 no momento da sua ampliação, passando a ocupar uma área de 162,5 hectares (IEMA, 2014). Além disso, o PECF é uma importante UC do Estado do Espírito Santo, pois possui espécies raras e preserva um remanescente de Mata Atlântica e os Campos de Altitude.

No mundo inteiro, as UC têm sido alvo de um crescente público que busca o convívio com a natureza. Entretanto, o objetivo da criação dessas áreas é o de preservar a biodiversidade e por falta de planejamento e monitoramento elas estão sendo ameaçadas pelo ecoturismo.

Por outro lado, o ecoturismo é uma alternativa potencial de renda, emprego e desenvolvimento das comunidades próximas às UC, podendo auxiliar na preservação, se for adequadamente explorado, pois é importante para a sustentabilidade econômica, social, cultural, política e ambiental da região, desde que utilize os recursos turísticos preservando os valores ambientais, porém caso contrário, pode degradar o meio ambiente. Assim, para que haja um equilíbrio entre a natureza e o turista é imprescindível que seu planejamento seja bem feito (BOO, 1995).

Diante da necessidade de planejamento em UC, os SIG, por meio da Análise Multicritério, associada ao Zoneamento da área, dá suporte à tomada de decisões, através de processos que permitem armazenar, analisar, recuperar, manipular e manejar grandes quantidades de dados espaciais, utilizando dados geograficamente referenciados e dados não espaciais, produzindo informações úteis na tomada de decisões.

Nesse sentido, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos, com o intuito de ajudar no planejamento de áreas de proteção ambiental, na gestão eficiente e na tomada de decisões gerenciais, como: Zambon et al. (2005); Freitas et al. (2006); Pompermayer (2007); Januzzi et al. (2009); Barbosa et al. (2012); e Franco et al. (2013).

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo que foi utilizada no presente trabalho trata-se de um plantio comercial de mamão, localizado no norte do Estado do Espírito Santo e de uma Unidade de Conservação, o Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (PECF), localizado no Sul do Estado do Espírito Santo, conforme se observa na Figura 1.

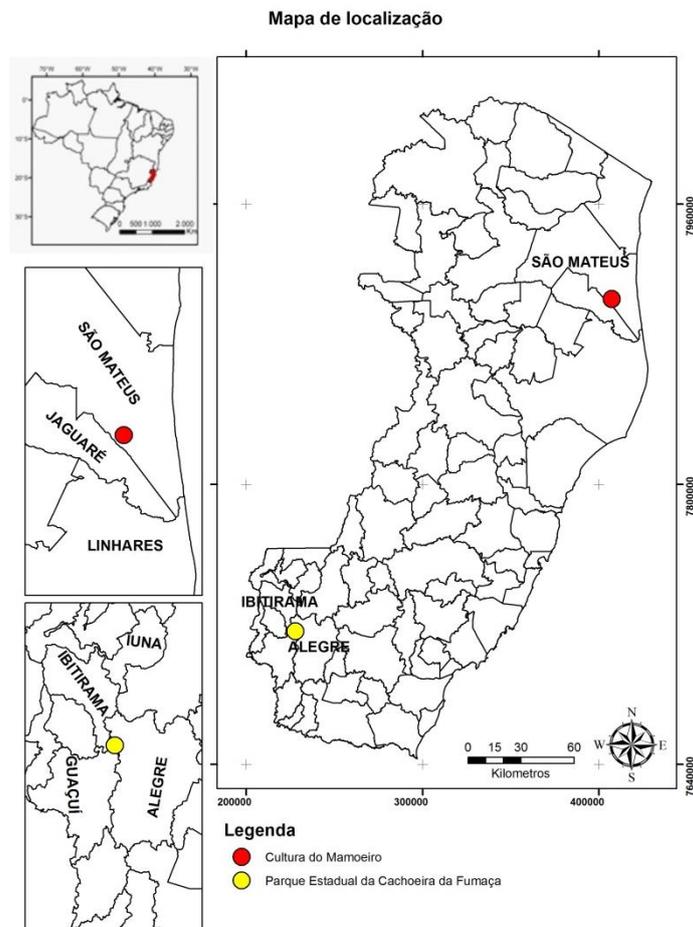


Figura 1 - Mapa de localização das áreas de estudo.

4 REFERÊNCIAS

ATECA, M. R.; SERENO, R.; APEZTEGUÍA, H. Zonificación de una superficie cultivada com soja segun aspectos fenométricos y consumo de agua del suelo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 111-116, 2001.

BALL, G. L. Ecosystem modeling with GIS. **Environmental Management**, v. 18, n. 3, p. 345-349, 1994.

BARBOSA, M. E. F.; LIMA, E. R. V. de; NÓBREGA, W. R.; VALADARES, D. N. Técnicas de geoprocessamento e de análise multicritério na adequação de uso das terras no Município do Conde (PB). **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1729-1742, 2012.

BECKER, G. Precision forestry in central Europe- new perspective for a classical management concept. In: INTERNATIONAL PRECISION FORESTRY SYMPOSIUM, 1., 2001, Seattle. **Anais...** University of Washington, Seattle, 2001. p. 7-9.

BENATTI, J. H. Unidades de conservação e as populações tradicionais: uma análise jurídica da realidade brasileira. **Novos Cadernos NAEA**, v. 2, n. 2, p. 107-126, 1999.

BENDA, F.; ALVES, M. da G.; OLIVEIRA, C. H. R. de. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos de Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia** (online), v. 64/1, p. 33-44, 2012.

BERKHIN, P. (2002). **Survey of Clustering Data Mining Techniques**. Tech, rept., Accue, San Jose, CA. Disponível em: <http://www.accrue.com/products/rp_cluster_review.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2013.

BEZDEK, J. C.; PAL, S. K. (eds). (1992). **Fuzzy models for pattern recognition – methods that search for structure in data**. New York. USA, IEEE Pres.

BONISCH, S.; ASSAD, M. L. L.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Representação e propagação de incertezas em dados de solos, 2- Atributos numéricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 01, p. 21-32, 2004.

BOO, E. O Planejamento Ecoturístico para áreas protegidas. In: LINDBERG, K.; HAWWKINS, D.; WESTERN, D., Ed. **Ecoturismo um guia para planejamento e gestão**. São Paulo, SENAC, 1995. 31-37 p.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. **Constituição Federal**, Brasília, DF. Institui o Sistema Nacional de Unidade de Conservação.

BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E.; KARAM, D. Sistema de classificação *fuzzy* para o risco de infestação por plantas daninhas considerando a sua variabilidade espacial. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 229-238, 2006.

BUTLER, D. R.; WALSH, S. J. 1998. The application of remote sensing na geographic information systems in the study of geomorphology: An introduction. **Geomorphology**, v. 21, p. 179-181, 1998.

CALIJURI, M. L. **Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas**. Núcleo SIGEO. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 156p, 2000.

CALIJURI, M. L.; LORENTZ, J. F. Apostila do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: **Análise Multicritério**. Viçosa: UFV, 2003. 73p.

CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; Mortalidade por causas externas – Análise exploratória espacial, Região Sudeste/Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 1998, Caxambu-RJ: 1998, **Anais...**, 19 a 23 de outubro de 1998, CD ROM.

CARVALHO, M. de P. e; MENDONÇA, V. Z. de; PEREIRA, F. C. B. L.; ARF, M. V.; KAPPES, C.; DALCHIAVON, F. C. Produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1797-1803, 2012.

CBH-AT – Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. 2002. **Plano da bacia do Alto Tietê**. Porto, M., Palermo M. A. (Coords.). São Paulo-Sp. 281 p.

CHAO, R. G. C. **Geoprocessamento e sensoriamento remotos aplicados ao estudo da dinâmica urbana da província Ciudad de La Habana e na avaliação de ameaças de escorregamentos no município de Habana del Leste, Cuba**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências-USP, São Paulo, SP, 1998.

CHARNPRATHEEP, K.; GARNER, B. Z. Q. Preliminary landfill site screening using *Fuzzy* geographical information systems. **Waste Management & Research**. v. 15, p. 197-215, 1996.

COSTA, F. P. **Uso da geoestatística e da lógica *fuzzy* no estudo da variabilidade espacial e temporal da produtividade e da fertilidade do solo em café conilon**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Produção Vegetal-UFES, Alegre, ES, 2011.

DA COSTA, S. M. F.; CINTRA, J. P. Environmental analysis of metropolitan areas in Brazil. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 54, p. 41-49, 1999.

DOERGE, T. **Defining management zones for precision farming**. **Crop Insights** (1999). 8 (21): 1-5.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

DUDA, R. O.; HART, P. E.; STORK, D. G. (2000). **Pattern classification**, second edition. New York, Wiley Interscience.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Rasters procedures for multicriteria/ multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

EASTMAN, R. **IDRISI for window**: user's guide. Version 2.0 Worcester: Clark University, 1997. Paginação irregular.

SILVA, A. F. da.; BARBOSA, A. P.; ZIMBACK, C. R. L.; LIMA, J. S. DE S.; LANDIM, P. L. B. Análise multivariada na diferenciação entre manejos do solo cultivado com café. **Energia na agricultura**, v. 29, n. 1, p. 57-63, 2014.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu, **Anais...Foz do Iguaçu-PR: 2013**. p. 3366-3373.

FREITAS, A. L. P; MARINS, C. S.; SOUZA, D. de O. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. **GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 1, n. 3, p. 51-60, 2006.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A. Variability of soil and landscape attributes within sub-field management zones. In: International Conference on Precision Agriculture, 5, 2000, Bloomington. **Anais...Madison: ASA-CSSA-SSSA, 2000**. CD-Rom.

GORDON, A. D. (1999). **Classification, 2nd edition**. London, U. K., Chapman & Hall.

HAN, J.; KAMBER, M. (2001). **Data mining: Concept and techniques**. Academic Press.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Parque Estadual Cachoeira da Fumaça. Vitória (ES), 2014. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=16700>>. Acesso em: 02 maio 2014.

JAIN, A. K.; DUBES, R. C. (1998). **Algorithms for clustering data**. Enlewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.

JAIN, A. K.; MURTY, M. N.; FLYNN, P. J. (1999). Data Clustering: A Review. **ACM Computing Surveys**, v. 31, n. 3, p. 264-323.

JANUZZI, P. de M; MIRANDA, W. L. de; SILVA, D. S. G. da. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. **Informática Pública**, ano 11, v. 1, n. 1, p. 69-87, 2009.

KAVDIR, I.; GUYER, D. E. Apple grading using *fuzzy* logic. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 27, n. 06, p. 375-382, 2003.

KHOSLA, R.; SHAVER T. Zoning in on nitrogen needs. **Colorado State University Agronomy Newsletter**, ano 21, v. 1, p. 24-26, 2001.

LINDEN, R. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36, 2009.

LUCHIARI, A. J R.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for the management of location specific nutrient. In: International Conference on Precision Agriculture, 5, 2000, Bloomington. **Anais...Madison: ASA-CSSA-SSSA**, 2000. CD-Rom.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the *Fuzzy* clustering technique. **Scientia Agricola**, v.65, n.6, p.567-573, 2008.

MORARI, F.; CASTRIGNANÒ, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geoelectrical sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.68, p.97-107, 2009.

PEDROSO, M.; TAYLOR, J.; TISSEYRE, B.; CHARNOMORDIC, B.; GUILLAUME, S. A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, p. 199-208, 2010.

PEIXOTO M. S.; BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Um modelo *Fuzzy* Presa-Predador em citros: pulgões e joaninhas. **Biomatemática**, v. 14, p. 29-38, 2004.

PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 30, p. 9-29, 2001.

POMPERMAYER, R. de S. Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 12, n. 3, p. 117-127, 2007.

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. **Revista Engenharia Civil**, Minho, Portugal, n. 10, Universidade do Minho, 2001. p. 7-29.

RIBEIRO, C. A. A. S. Floresta de Precisão. In.: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2002. p. 311-335

RODRIGUES JÚNIOR, F. A. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura com base em determinações usando sensor SPAD e análise foliar**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 8, p. 778–787, 2011.

SAATY, T. L. (1980). **Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. McGraw-Hill, New York, NY, USA.

SCHMIDT, J. P.; DEJOIA, R. K.; YOUNG, R. K. Practical implications from variable nitrogen studies in irrigated corn. In: Robert, P. C.; Rust, R. H.; Larson, W. E. (eds.). International Conference on Precision Agriculture, 5. **Anais...** Madison, ASA, CSSA, SSSA, 2000. CD-Rom.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. de S. Lógica *fuzzy* no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. **Idesia (Chile)**, v. 27, n. 3. p. 41 – 46, 2009.

SILVA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica*) sob diferentes manejos. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2. p. 173 - 182, 2010.

SOUZA, G. S. de; LIMA, J. S. de S.; SILVA, S. de A.; XAVIER, A. C. Aplicação de lógica *fuzzy* e geoestatística na análise da fertilidade de um solo sob pastagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 03, p. 323-330, 2009.

STEWART, C. M.; MCBRATNEY, A. B. Development of a methodology for the variable-rate application of fertilizer in irrigated cotton fields. In: Robert, P. C.; Rust, R. H.; Larson, W. E. (eds.). International Conference on Precision Agriculture, 5, **Anais...** Madison, ASA, CSSA, SSSA, 2000. CD-Rom.

VARGENS, J. M.; TANSCHKEIT, R.; VELLASCO, M. M. B. R. Previsão de produção agrícola baseada em regras linguísticas e lógica *fuzzy*. **Revista Controle & Automação**, vol. 14, n. 02, p. 114-120, 2003.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R. (Ed). **Agricultura de precisão**. Viçosa: Os autores, 2000. p. 65-75.

VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; GONZÁLEZ, A. P.; SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.1, p.181-190, 2010.

WINDHAM, M. P. Cluster validity *C-means* for *Fuzzy* clustering algorithm. IEEE Transactions. **Pattern Analyses Machine Intelligence**, New York, v. 4, n. 4, p. 354-363, 1982.

XU, R.; WUNSCH, D. Survey of clustering algorithms. **IEEE Transactions on Neural Networks**, c. 16, n. 3, p. 645-678, 2005.

YANG, M. S. A Survey of *Fuzzy* Clustering. **Math. Comp. Modelling**, v. 18, n. 11, p. 1-16, 1993.

YANG, C. C.; PRASHER, S. O.; LANDRY, J. A.; RAMASWAMY, H. S. Development of a herbicide application map using artificial neural networks and *fuzzy* logic. **Agricultural System**, vol. 76, n. 02, p. 561-574, 2003.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets*. **Information and control**. v. 8. p. 338-353, 1965.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. de F. M; SILVA, A. N. R. da; NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional** (online), v. 25, n. 2, p. 183-199, 2005.

CAPÍTULO I
DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO PARA A CULTURA DO MAMOEIRO,
CONSIDERANDO ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, UTILIZANDO O
ALGORITMO *FUZZY C-MEANS*

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho definir zonas de manejo para a cultura do mamoeiro, por meio do método de agrupamento *fuzzy C-means*, com base em determinações realizadas através de amostragens e análises químicas do solo, considerando os atributos: Fósforo, Cálcio, Magnésio e Potássio; e da Saturação por Base. O trabalho foi desenvolvido em uma área com plantas de mamoeiro, cultivada em um Argissolo típico dos tabuleiros costeiros, localizada no município de São Mateus, ES. A área avaliada apresenta uma lavoura comercial de *Carica papaya* L., de aproximadamente 1,2 ha. As zonas de manejo foram definidas por meio do método proposto, com base nas seguintes análises: valores dos atributos químicos do solo P, Ca, Mg, e Saturação por bases, analisados juntamente; Valores dos atributos químicos do solo P, Ca, Mg, e V, analisados separadamente; Combinação dos atributos químicos do solo Ca-Mg, Ca- V, Ca-Mg-V, P- Ca, P- Mg, P- V, P-Ca-Mg, P-Ca-V, Mg-V e P-Ca-Mg-V. A partir das zonas de manejo geradas foi possível explicar a variabilidade espacial dos atributos na área de estudo e observou-se similaridades entre as zonas de manejo geradas a partir de diferentes atributos, além disso, observa-se uma influência nos dados, principalmente pelos atributos P e V%.

Palavras-chave: Análise de agrupamento. Geoestatística. *Carica papaya* L.

**DEFINITION OF ZONES OF MANAGEMENT FOR A CULTURE OF PAPAYA,
CONSIDERING CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL, THROUGH THE FUZZY C-
MEANS ALGORITHM**

ABSTRACT

The objective of this work was to define management zones for cultivation of papaya, through the method of *fuzzy C-means* clustering based on measurements performed by sampling and chemical analysis of soil, considering the attributes: Phosphorus, Calcium, Magnesium and potassium; and base saturation. The study was conducted in an area with papaya plants grown in a typical Ultisol of the coastal plains, in the municipality of São Mateus, ES. The area has evaluated a commercial crop *Carica papaya* L., approximately 1.2 ha. The management zones were defined using the proposed method, based on the following analyzes: Values for soil P, Ca, Mg, and Base saturation, analyzed together; Values for soil P, Ca, Mg and V, separately analyzed; Combination of soil chemical properties: Ca-Mg, Ca- V, Ca-Mg-V, P- Ca, P- Mg, P- V, P-Ca-Mg, P-Ca-V, Mg-V and P-Ca-Mg-V. Based on the generated management areas it was possible to explain the variability of the attributes in the area of study and it was observed similarities between the management zones generated from different attributes varied, furthermore, one can observe a trend in the data mainly influenced by P and V% attributes.

Keywords: Clustering analysis. Geostatistics. *Carica papaya* L.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura vem passando por grandes transformações tecnológicas, entre elas pode-se citar o uso da agricultura de precisão, que pode trazer benefícios à cultura, uma vez que auxilia na identificação de áreas com potencial para produção de frutos com melhor qualidade e no entendimento dos fatores que a determinam. Propicia uma administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura, identificando diferenças presentes nos solos e nas plantas, permitindo estabelecer práticas de manejo para cada espaço do plantio (SCHUELLER, 1992; WIEDA e BORGELT, 1993).

Compreender a distribuição espacial dos atributos do solo é o primeiro passo para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas, visando otimizar a

produtividade agrícola e minimizar danos ambientais e pode ser feito com o uso da geoestatística, que permite a verificação da dependência espacial e visualização espacialmente dos atributos estudados (MENDES et al., 2008; RODRIGUES et al., 2012; DELALIBERA et al., 2012).

Para determinação de práticas de manejo diferenciadas, com aplicação de insumos a taxa variada, geram-se zonas de manejo com a finalidade de diminuir a amostragem, resultando em mapas representativos da área, com uma combinação de fatores limitantes de produtividade e de qualidade, para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos (RODRIGUES JUNIOR et al., 2011).

Para geração das zonas de manejo, tem-se utilizado técnicas de agrupamento de dados que possibilitam o uso de um conjunto de fatores proeminentes no desenvolvimento das culturas e na identificação de variabilidades nos cultivos. Entre esses métodos encontram-se o *fuzzy C-means*, que possibilita o uso de um conjunto de atributos correlacionados com a variabilidade nutricional da área em estudo (CAMBOURIS et al., 2006; TAYLOR et al., 2003; 2007; SANTOS et al., 2003; YAN et al., 2007; BARBIERI et al., 2008; RODRIGUES JUNIOR et al., 2011; GUEDES FILHO et al., 2010; ALVES et al., 2013).

Rodrigues Junior et al. (2011) geraram zonas de manejo para cafeicultura com base em determinações realizadas com sensor de clorofila e por análise foliar por meio dos métodos *C-means* e *fuzzy C-means*, em uma lavoura de *café Coffea arabica* L. cv. Catuaí, de 2,1 ha, localizada no município de Paula Cândido-MG e concluíram que os métodos de agrupamento utilizados não apresentaram diferenças na geração dessas zonas.

Alves et al. (2013) definiram zonas de manejo com base na variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo e da matéria orgânica, através do algoritmo *fuzzy C-means*, em áreas de plantio direto de milho e soja. Os melhores resultados na classificação das zonas de manejo, para os atributos referentes à textura do solo foram observados a partir de mapas de matéria orgânica ou de condutividade elétrica e, para os atributos químicos, a partir de mapas de matéria orgânica ou de altitude e matéria orgânica.

Taylor et al. (2003) utilizaram o algoritmo *C-means* para definir zonas de manejo com dados de produtividade e indução eletromagnética do solo e concluíram que há coincidência entre as zonas criadas. Propuseram ainda uma amostragem mais direcionada, reduzindo o número de amostras de solo de 27 para 4.

A metodologia *fuzzy* tem sua essência na aceitação da incerteza que deve ser modelada e tratada por métodos matemáticos, e foi introduzida por Zadeh (1965). Tem sido utilizada nas mais diversas áreas de estudo devido à capacidade de detectar similaridade entre membros de uma coleção de objetos para tomada de decisão. O conjunto *fuzzy* expressa o grau o qual um elemento pertence a um conjunto utilizando uma função de pertinência.

Assim, levando-se em consideração que a geração de zonas de manejo direciona a amostragem da área e o estudo da distribuição espacial dos atributos do solo e planta e a aplicação de insumos em doses diferenciadas, a correlação das zonas de manejo obtidas por meio dos atributos químicos do solo pode levar a um entendimento melhor da distribuição espacial dos atributos do solo, facilitando a otimização da amostragem.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho foi o mapeamento preliminar de zonas de manejo através do método de agrupamento *Fuzzy C-means* (FCM) para a cultura do mamoeiro, com base em determinações realizadas através de amostragens e análises químicas do solo, considerando os atributos: P, K, Ca, Mg, e Saturação por bases (V%).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes do experimento de dissertação de mestrado, realizado por Sturião (2012) na fazenda Vovô Délio, localizada no município de São Mateus, ES. O local possui altitude média de 40 m, e tem como coordenadas aproximadas da área E = 407241 m e N = 7905948 m, fuso 24. Segundo Embrapa (2006), o solo da área é típico da região dos tabuleiros costeiros da costa litorânea brasileira, caracterizado como Argissolo Amarelo distrocoeso de argila de baixa atividade, de relevo suave ondulado, com declividade aproximada de 3,0%.

O solo de textura arenosa de caráter coeso foi preparado convencionalmente e cultivado com mamoeiro variedade Golden THB. Após a sexagem, procederam-se as amostragens de solo. As amostras deformadas foram coletadas com o auxílio de um trado, a 0-0,20 m de profundidade, na projeção da copa, no ponto de aplicação de fertilizantes no sentido da linha de plantio em dois pontos equidistantes, aproximadamente 0,20 m. O material amostrado foi adicionado

em sacos plásticos, formando uma única amostra por ponto amostral, devidamente identificados e vedados.

As amostras de solos foram coletadas em um talhão de 1,2ha, no qual foi definido um ponto amostral de aproximadamente 5,0 m², totalizando 129 pontos amostrais (Figura 11). Todas as amostras foram georreferenciadas com a utilização de um receptor de GPS da marca TechGeo®, modelo GTR G2 geodésico, pós-processados.

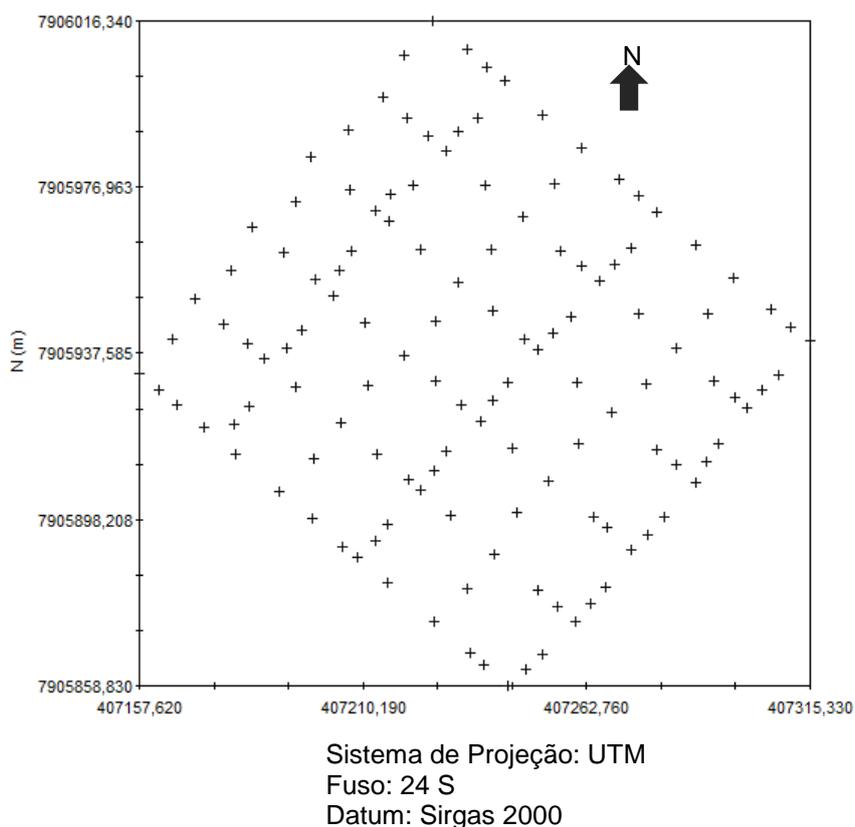


Figura 11 - Malha amostral elaborada para amostragem dos atributos de solo.

As variáveis analisadas foram: fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e potássio (K), todas coletadas na profundidade de 0-0,20 m; e saturação por bases (V%) calculada em função das amostras coletadas.

Com todos os dados armazenados, foi executada uma análise estatística descritiva como um primeiro passo das análises dos dados. Essa análise teve a finalidade de avaliar a distribuição das variáveis ao longo do experimento, determinando medidas de posição e de dispersão: a média; a mediana; o valor

máximo e o mínimo; o quartis superior e o inferior; o desvio-padrão; e os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose.

Posteriormente, fez-se a análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os atributos químicos do solo em estudo considerando a classificação adotada por Kitamura (2004), sendo considerado extra-alto se $80,0\% \leq r \leq 1,0\%$; alto se $60,0\% \leq r \leq 80,0\%$; moderado se $40,0\% \leq r \leq 60,0\%$; baixo se $20,0\% \leq r \leq 40,0\%$; e nulo se $0,0\% \leq r \leq 20,0\%$ (da mesma forma para os valores de r negativos).

Os dados foram submetidos à análise geoestatística para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial, quando presente, por meio do ajuste do semivariograma clássico de Matheron (ROBERTSON, 2000).

Por meio de análise geoestatística, foi verificado para cada variável, entre os modelos de semivariogramas, aquele que melhor se ajustou ao modelo experimental (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; SANTOS et al, 2003; CORÁ et al, 2004). Foi usado o *software* Vesper[®] e o modelo foi escolhido tendo como critério a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e maior coeficiente de determinação (R^2). Para análise da dependência espacial foi calculado o índice de dependência espacial (IDE) através da expressão $[C_1 / (C_0 + C_1)] * 100$, onde C_1 representa a variância estrutural e $C_0 + C_1$ representa o patamar. Foi utilizado o critério definido por Zimback (2001) para classificação deste índice, que considera dependência espacial fraca ($IDE \leq 25,0\%$), moderada ($25,0\% < IDE \leq 75,0\%$) e forte ($IDE > 75,0\%$).

Para todas as variáveis, foi verificada a dependência espacial e elaborado o mapa de variabilidade espacial utilizando a interpolação por krigagem, que segundo Landim (1998) é um conjunto de técnicas de análise de regressão que minimiza a variância estimada, a partir de um modelo prévio, levando em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Para a geração dos mapas de variabilidade espacial, todas as interpolações foram feitas utilizando-se um tamanho de pixel de 0,5 x 0,5 m para as coordenadas E e N e mesmo polígono de contorno, definido na Figura 11. Essa padronização garante que todos os mapas gerados tenham o mesmo número de píxeis e possam se sobrepor.

No estudo das zonas de manejo foi utilizado o *software* FuzMe[®] com o algoritmo FCM e dentre as variáveis analisadas as que apresentaram dependência espacial.

O algoritmo FCM foi aplicado para agrupar os dados buscando a minimização da variância intraclases e a maximização da variância interclasses, minimizando assim a função objetivo J_m , de uma função característica μ_{ij} ($\mu_{ij} \in [0, 1]$) e um centro de classe c_i .

Usou-se este método para dividir em duas e três classes os grupos de dados utilizados na confecção das zonas de manejo (MINASNY e MCBRATNEY, 2002). A função objetivo utilizada pelo FCM é descrita na equação 1:

$$\text{Minimizar } J_m = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m d^2(x_j, c_i) \quad (1)$$

em que:

$$d^2(x_j, c_i) = \|x_j - c_i\|^2$$

m é um índice do grau *fuzzy* para a classificação.

A variável $m > 1$ define a distância permitida entre o ponto considerado e o centroide que está sendo calculado, sendo assim, quanto maior seu valor, mais elementos serão atribuídos a esse grupo (YONAMINE et al., 2002).

Realizou-se um teste preliminar em que foram testados cinco diferentes valores de m : 1,1; 1,3; 2; 5 e 10. Os resultados mostraram não haver diferença na definição das zonas de manejo com a mudança de m , conforme já observado por Rodrigues Junior et al. (2011), assim adotou-se $m = 1,1$.

A iteração foi recalculada até que a diferença entre J_{m_atual} e $J_{m_anterior}$ fosse igual ou menor que 0,0001. Dez inicializações aleatórias foram feitas com diferentes centroides iniciais.

Para implementação do algoritmo FCM, seguiu-se os seguintes passos:

- 1) Inicialize os valores dos elementos μ_{ij} da matriz de pertinência com números aleatórios entre 0 e 1, satisfazendo as condições descritas na Equações 1;
- 2) Calcule os centroides c_i ($i=1, 2, 3, \dots, c$);
- 3) Atualize os valores da matriz de pertinência;
- 4) Se atingiu o número de iterações máximas definidas inicialmente, então finaliza o algoritmo, caso contrário, volte ao passo 2.

Para o cálculo da distância d entre o i -ésimo centro da classe e o j -ésimo ponto da amostra, utilizou-se a distância euclidiana.

Para obter o número ótimo de classes, determinou-se o valor de dois índices, o Índice de Performance *Fuzzy* (FPI – “*Fuzziness Performace Index*”) e

Entropia da Partição Modificada (MPE – “*Modified Partition Entropy*”), apresentados nas Equações 2 e 3 (SONG et al., 2009), respectivamente.

$$FPI=1-\frac{c}{c-1}\left[1-\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (\mu_{ij})^2}{n}\right] \quad (2)$$

$$MPE=-\left[\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ij} \cdot \log \mu_{ij}}{n \cdot \log(c)}\right] \quad (3)$$

Após a delimitação dos grupos pelo método FCM, utilizou-se o *software* ArcGis® 10.2 para a espacialização dos dados e geração dos mapas temáticos.

A partir dos mapas gerados, fez-se uma análise visual e observaram-se os mapas com maior similaridade entre as zonas de manejo provenientes dos diferentes atributos utilizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise descritiva e geoestatística

Na Tabela 1I são apresentadas as estatísticas descritivas de P, Ca, Mg, K e V% e na Tabela 2I, as faixas consideradas satisfatória (FS) quanto aos seus níveis, para a cultura do mamoeiro.

Tabela 1I - Análise estatísticas descritivas dos valores de P, Ca, Mg, K e V%

Atributo	Mín.	Q1	Md.	Q3	Máx.	Média	s	CV (%)	Ck	Cs
P (mg dm ⁻³)	2,00	9,00	15,00	27,00	66,0	20,12	14,81	73,61	0,93	1,24
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,80	1,40	1,90	2,40	7,80	2,06	0,88	42,75	12,86	2,35
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,20	0,40	0,60	0,70	1,30	0,59	0,19	32,86	0,88	0,59
K (mg dm ⁻³)	20,00	50,00	60,00	80,00	140,00	67,44	24,15	35,80	-0,05	0,37
V (%)	46,97	63,60	71,04	77,70	94,71	70,69	10,09	14,27	-0,20	-0,09

Mín.: valor mínimo; Q1: primeiro quartil; Md: mediana; Q3: terceiro quartil; Máx.: valor máximo; s: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; Ck: coeficiente de curtose; a Cs: coeficiente de assimetria.

Como análise geral dos dados, verifica-se que os atributos estudados possuem valores acima dos níveis considerados satisfatórios, isso se dá

provavelmente devido a adubação feita na área, demonstrando que há excesso de nutrientes no solo.

Tabela 2I - Faixa considerada satisfatória (FS) para os atributos analisados, para a cultura do mamoeiro

Atributo	FS*
P (mg dm ⁻³)	10,00 - 20,00
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,60 - 4,00
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,60 - 1,00
K (mg dm ⁻³)	30,00 - 60,00
V (%)	70,00 - 80,00

*Faixa considerada satisfatória, adaptado de Costa e Costa (2003) e Prezotti et al. (2007).

Entre os valores apresentados na Tabela 1I, nota-se que a média e a mediana, medidas que procuram caracterizar o centro da distribuição de frequências, possuem valores próximos, para as variáveis Ca, Mg, K e V, indicando que a distribuição dos dados tendem a normalidade. Assim sendo, supôs-se a hipótese de normalidade dos dados para esses atributos.

Há tendência à simetria nos dados de Mg, K e V, sendo que este fato pode ser verificado por meio dos coeficientes de assimetria e curtose, onde o coeficiente de assimetria próximo de zero caracteriza a distribuição simétrica, e o coeficiente de curtose próximo de zero, para os atributos P, Mg, K e V, caracteriza a distribuição mesocúrtica (normal). O atributo Ca não apresentou Cs e Ck próximos de zero, caracterizando que sua distribuição não tende a normalidade. Montezano et al. (2006) e Montanari et al. (2005), estudando a variabilidade de atributos químicos, não encontraram distribuição normal para a maioria dos atributos estudados.

Observando a Tabela 1I, quanto à simetria, 60% dos atributos apresentam distribuição assimétrica à direita, com média maior que mediana. O coeficiente de curtose (Ck) indica distribuição platicúrtica para 60% dos atributos.

Analisando a variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação (CV), tem-se, pela classificação de Warrick e Nielsen (1980):

- médio CV para Ca, Mg, K e V, totalizando 80% dos atributos estudados ($12 < CV < 62\%$), sendo que resultados semelhantes foram encontrados por Menezes et al. (2004), Silveira et al. (2000) e Silva et al. (2003), na profundidade de 0,0-0,2 m e Araújo (2002) e Souza et al. (2003) na profundidade de 0,6-0,8 m;

- alto CV para o P ($CV > 62\%$), que representa 20% dos atributos. Cavalcante et al. (2007) observaram que CV mais elevado deve-se aos efeitos residuais de adubações e pela forma como são aplicados, geralmente na linha de semeadura e sem homogeneização completa, ao contrário da calagem, que foi distribuída em toda área.

Menezes et al. (2004), estudando a variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo, sob cultivo de cana-de-açúcar, no Município de Guariba (SP), encontraram valores de CV médio para Ca, Mg e V, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Barbieri et al. (2008) estudaram a variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo, e dentre as variáveis estudadas apenas a saturação por bases na área côncava, na profundidade de 0-0,20 m, apresentou coeficiente de variação baixo. O restante dos atributos apresentou coeficientes de variação médio ou alto nas duas profundidades estudadas.

A fertilidade média do solo foi analisada com base na faixa satisfatória definida como ideal para a cultura do mamoeiro no Estado do Espírito Santo (Tabela 2I). Assim, com base nessas classes temos valores médios acima da FS para as variáveis P ($20,12 \text{ mg dm}^{-3}$) e K ($67,44 \text{ mg dm}^{-3}$). O valor médio de Mg se encontra abaixo da FS, enquanto a média dos demais atributos estudados encontram-se dentro da faixa considerada satisfatória.

Segundo Sturião (2012), é possível que no solo da área em estudo o P apresente maior mobilidade devido ao baixo teor de argila, na profundidade de 0-0,20 m, predomínio de caulinita e irrigação, favorecendo a difusão e disponibilidade à absorção pelas plantas, além disso, as coletas foram realizadas na projeção da copa das plantas, no local das adubações.

A análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os atributos químicos do solo (Tabela 3I) apresenta correlação nula ($0,0 \leq r \leq 20,0\%$) para “P e Mg”, “P e K”, “P e V”, “K e Ca”, “V e K”; baixa correlação ($20,0 \leq r \leq 40,0\%$) para “Ca e P”, “K e Mg”; e moderada correlação ($40,0 \leq r \leq 60,0\%$) para “Mg e Ca”, “V e Ca”, “V e Mg”. Por outro lado, V trata-se da saturação por bases do solo, indicando quantos por cento das cargas negativas estão ocupadas por Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos H^+ e Al^{3+} , apresentando relação direta com as bases do solo.

Algumas correlações são justificadas pela grande influência exercida pelo local da coleta das amostras, no ponto de aplicação e homogeneização dos fertilizantes e pela relação quantitativa entre os atributos (STURIÃO, 2012).

Todos os atributos foram submetidos à análise geoestatística. Os parâmetros dos semivariogramas ajustados e o coeficiente de determinação da validação cruzada para cada atributo são apresentados na Tabela 4I, que mostram que K não apresentou dependência espacial, uma vez que o semivariograma apresentou efeito pepita puro (EPP). No Apêndice A, são apresentados os semivariogramas ajustados aos atributos estudados e no Apêndice B a validação cruzada.

Tabela 3I - Correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre atributos químicos do solo na profundidade de 0-0,20 m

	P	Ca	Mg	K	V
P	1				
Ca	22*	1			
Mg	11	48*	1		
K	16	8	31*	1	
V	13	41*	49*	13	1

P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio, K: Potássio; e V: Saturação por bases.

* Significância a 5% de probabilidade.

Tabela 4I - Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos estudados

Atributo	Modelo	C_0	C_0+C_1	a (m)	IDE (%)	R_1^2 (%)	R_2^2 (%)
P	EXP	59,40	135,50	78,30	56	58	21
Ca	ESF	0,027	0,91	21,80	97	63,6	24
Mg	ESF	0,01	0,04	22,04	70	99,7	14
K	EPP	-	-	-	-	-	-
V	ESF	4,90	65,66	22,70	93	97,5	20

EXP: modelo teórico exponencial; ESF: modelo teórico esférico; EPP: Efeito pepita puro; C_0 : efeito pepita; C_0+C_1 : patamar; a: alcance de dependência espacial; IDE: índice de dependência espacial $[(C_1/C_0+C_1)*100]$; R_1^2 : coeficiente de determinação do semivariograma; e R_2^2 : coeficiente de determinação da validação cruzada (significativo $p < 0,05$).

O modelo que melhor se ajustou ao semivariograma da variável P, com base no maior valor do coeficiente de determinação (R_1^2), foi o exponencial, enquanto que para a variável Ca, V e Mg foi o modelo esférico, resultado semelhante foi encontrado por Menezes et al. (2004), para esta última variável.

Dentre os modelos teóricos utilizados na geoestatística, os modelos esférico e exponencial têm sido os mais adaptados para descrever o comportamento do

semivariograma de atributos de solo e de plantas (MENEZES et al, 2004; BARBIERI et al, 2008; RODRIGUES JÚNIOR, et al, 2011; STURIÃO, 2012; ALVES et al, 2013). O efeito pepita puro (EPP) indica falta de dependência espacial para a menor distância amostrada (5,7 m), assim, o atributo K se comporta aleatoriamente para a distância considerada.

O alcance reflete a continuidade espacial do atributo, pois em distâncias maiores que o alcance, o comportamento da variável é aleatório, sendo desejável que seja o maior possível, o que proporciona maior precisão à interpolação dos dados, ou seja, maior continuidade espacial. Os atributos Ca, Mg e V apresentaram alcance de aproximadamente 22 m e se ajustaram ao modelo esférico, portanto infere-se que apresentam o mesmo padrão de distribuição espacial, pois possuem alcances próximos e ajustados ao mesmo modelo teórico.

O alcance é importante no estudo da dependência espacial, pois em distâncias maiores que este, não há dependência espacial. Assim, é desejável que seja o maior possível, por representar a maior continuidade espacial do atributo e proporcionar maior precisão para locais não preditos (GRECO e VIEIRA, 2005). Segundo Sturião (2012), o valor do alcance é mais significativo quanto maior for o IDE.

Porém, devem-se analisar os resultados concomitantemente, levando-se em consideração os valores dos coeficientes de determinação dos semivariogramas (R_1^2), os índices da dependência espacial (IDE) e os coeficientes de determinação da validação cruzada (R_2^2). Observa-se na Tabela 4I que os elementos Ca e V apresentaram IDE considerados fortes, segundo Zimback (2001), com moderado e alto R_1^2 , respectivamente, porém apresentaram baixos valores de R_2^2 . Todos os ajustes apresentaram R_1^2 superior a 50%, sendo que 75% deles apresentaram R_1^2 maior que 75%.

Com o estudo da validação cruzada é possível identificar áreas em que não houve dependência espacial, indicando a necessidade de novas amostragens (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989), o que mostra a importância da validação cruzada para indicar a robustez do modelo escolhido na estimação de valores em locais onde não se possui informação.

A partir dos semivariogramas ajustados, fez-se a interpolação pelo método da krigagem ordinária, para os atributos que apresentaram dependência espacial (P, Ca, Mg, V), determinando seus valores em locais não amostrados. Com isso, foi

possível fazer uma análise visual da área, através de seus atributos, a fim de propor zonas de manejo diferenciadas para cada uma delas, respeitando suas necessidades específicas.

Sendo assim, com base nos resultados de R_2^2 , todos os elementos que se ajustaram a semivariogramas teóricos (P, Ca, Mg e V), foram utilizados para definição das zonas de manejo, enquanto K, por apresentar efeito pepita puro, não foi utilizado; dessa forma se definiram as zonas de manejo, utilizando o *software* FuzMe[®], e o algoritmo FCM, com base nos seguintes dados: valores dos atributos químicos do solo P, Ca, Mg, e V, analisados separadamente; combinação dos atributos químicos do solo Ca-Mg, Ca- V, Ca-Mg-V, P- Ca, P- Mg, P- V, P-Ca-Mg, P-Ca-V, Mg-V, P-Ca-Mg-V.

Em uma classificação deve-se inicialmente definir o número de classes que se deseja dividir o conjunto de dados, analisando o número ideal em cada problema proposto e se as classes definidas são técnica e economicamente viáveis. Segundo Fridgen et al. (2004) o número ótimo de classes para cada zona de manejo pode ser determinado quando se encontra o mínimo valor do Índice de Performance *Fuzzy* (FPI – *Fuzziness Performace Index*) e Entropia da Partição Modificada (MPE – *Modified Partition Entropy*). Assim, calculou-se os índices FPI e MPE para 2 e 3 classes de agrupamentos propostos, e encontrou-se valores similares entre diferentes classes, além disso, para 3 classes consideradas, os valores de FPI e MPE foram menores. Molin e Castro (2008), Yan et al. (2008), Xin-Zhong et al. (2009), Morari et al. (2009), em estudos semelhantes, obtiveram um valor ótimo de número de classes igual a três. Dessa forma, no presente trabalho, recomenda-se a utilização de três classes para definir as zonas de manejo.

3.2 Zonas de manejo obtidas pelo método FCM

Nas Figuras 2I e 3I são apresentadas as zonas de manejo geradas a partir dos atributos P, Ca, Mg e V, e suas combinações, pelo método FCM.

Mapas de agrupamentos dos atributos do solo através de algoritmo Fuzzy C-means

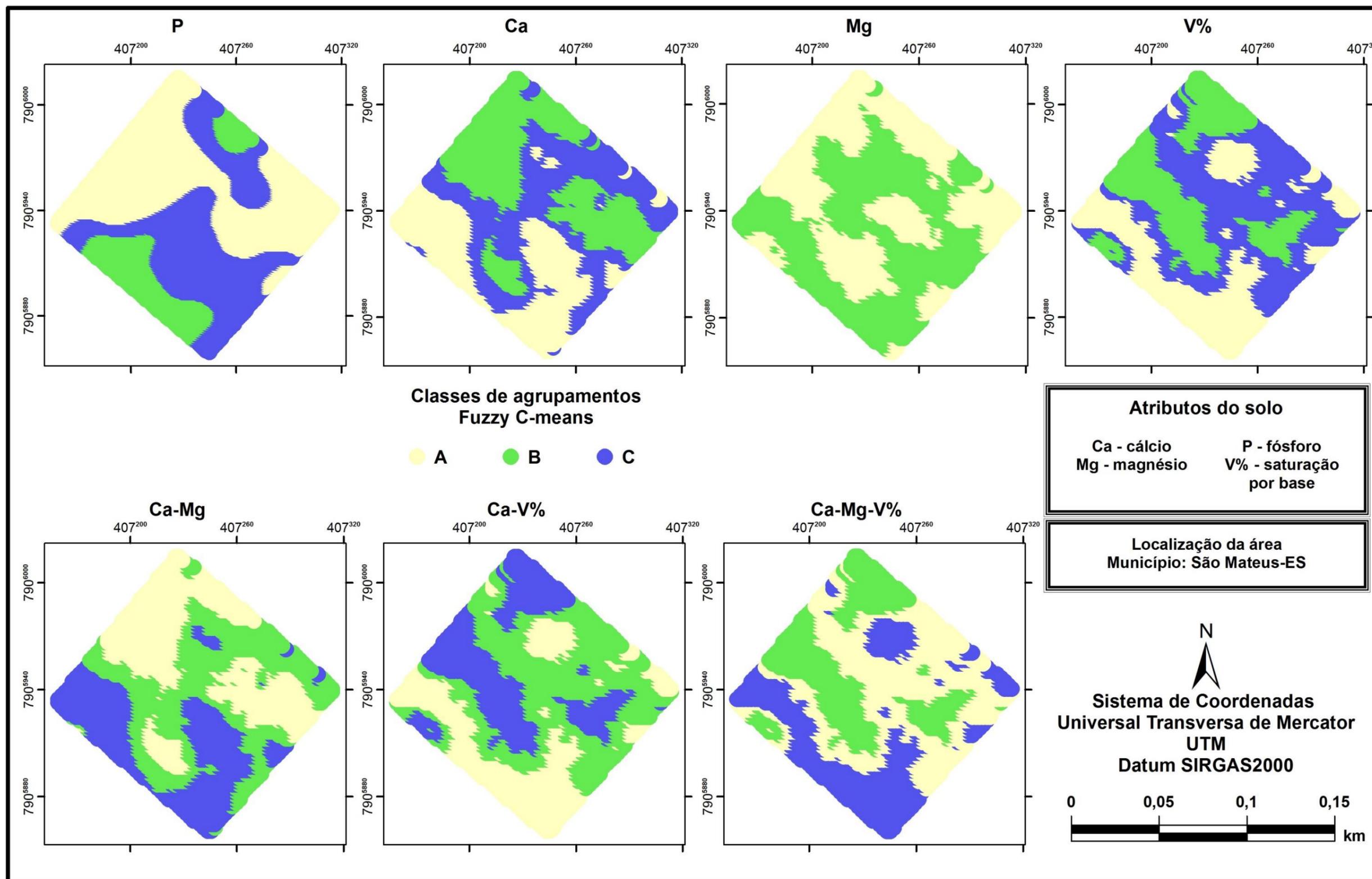


Figura 2I - Mapa de agrupamento utilizando o algoritmo *Fuzzy C-means*, dos atributos do solo P, Ca, Mg, V%, Ca-Mg, Ca-V% e Ca-Mg-V%.

Mapas de agrupamentos dos atributos do solo através de algoritmo Fuzzy C-means

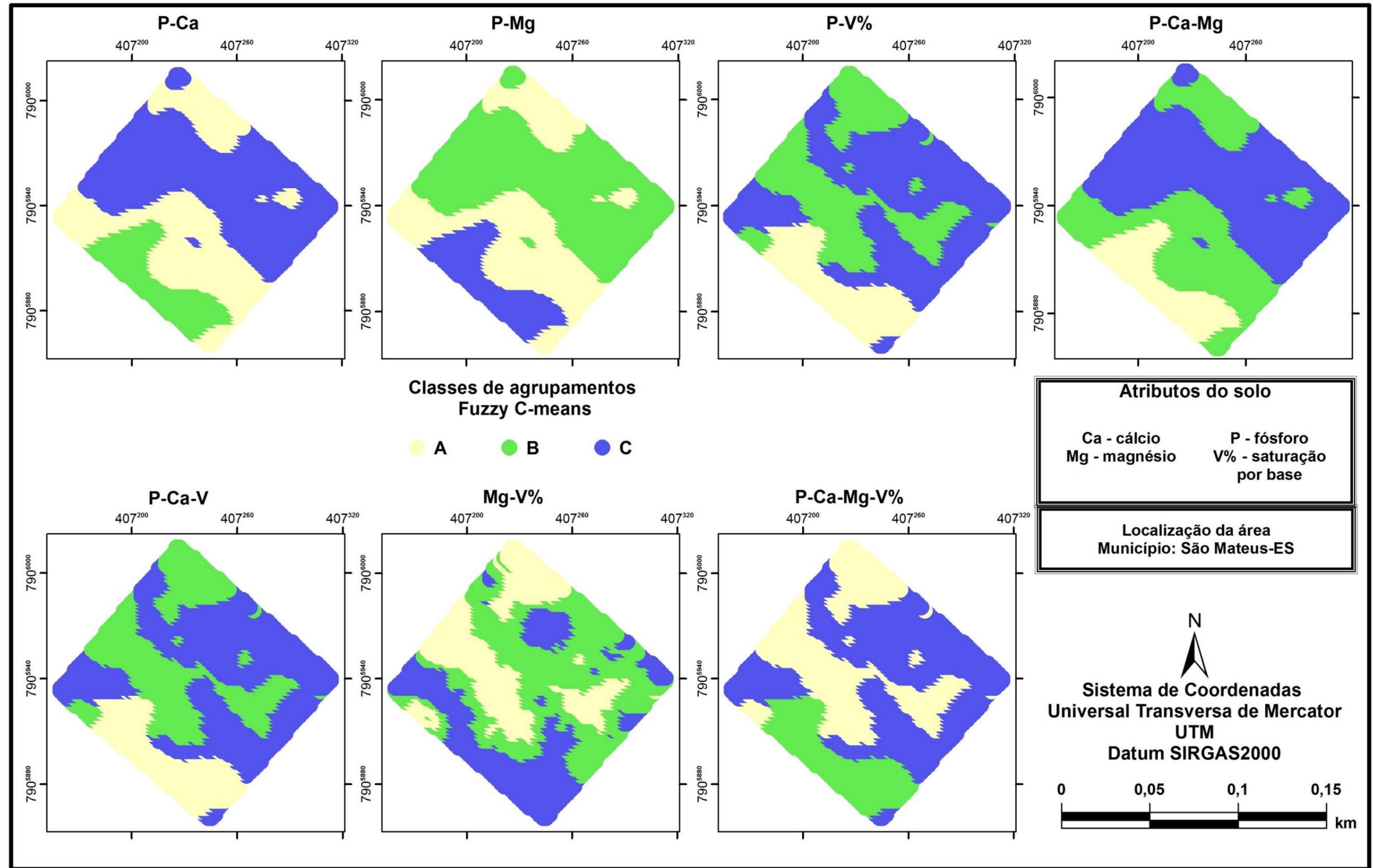


Figura 3I - Mapa de agrupamento utilizando o algoritmo *Fuzzy C-means*, dos atributos do solo P-Ca, P-Mg, P-V%, P-Ca-Mg, P-Ca-V%, Mg-V% e P-Ca-Mg-V%.

Nas Tabelas 5I, 6I e 7I estão dispostos os valores médios das classes de agrupamentos de dados encontrados na análise para 3 grupos, para todos os atributos químicos do solo analisados e suas combinações.

Tabela 5I - Média dos agrupamentos para análise com três classes, pelo algoritmo FCM, dos atributos P, Ca, Mg e V%

Classes	Médias			
	P	Ca	Mg	V
3a	16,60	2,45	0,48	76,02
3b	20,20	1,66	0,69	61,98
3c	24,50	2,02	0	69,54

Tabela 6I - Média dos agrupamentos para análise com três classes, pelo algoritmo FCM, dos atributos Ca-Mg, Ca-V, P-Ca, P-Mg, P-V e Mg-V

Classes	Médias											
	Ca-Mg		Ca-V		P-Ca		P-Mg		P-V		Mg-V	
	Ca	Mg	Ca	V	P	Ca	P	Mg	P	V	Mg	V
3a	1,67	0,50	2,31	76,02	19,42	2,12	19,41	0,54	29,12	75,64	0,47	61,98
3b	2,02	0,58	1,97	69,54	29,70	2,40	13,26	0,57	16,17	62,51	0,56	69,54
3c	2,46	0,65	1,87	61,98	13,27	1,87	29,70	0,64	15,14	71,43	0,70	76,02

Tabela 7I - Média dos agrupamentos para análise com três classes, pelo algoritmo FCM, dos atributos Ca-Mg-V, P-Ca-Mg, P-Ca-V e P-Ca-Mg-V

Classes	Médias												
	Ca-Mg-V			P-Ca-Mg			P-Ca-V			P-Ca-Mg-V			
	Ca	Mg	V	P	Ca	Mg	P	Ca	V	P	Ca	Mg	V
3a	1,97	0,56	69,54	29,70	2,40	0,64	29,11	2,38	75,62	16,17	1,86	0,48	62,51
3b	1,87	0,48	61,98	19,42	2,12	0,54	16,16	1,86	62,50	29,13	2,38	0,65	75,64
3c	2,31	0,70	76,02	13,27	1,87	0,57	15,15	2,03	71,43	15,15	2,03	0,60	71,43

Segundo Tisseyre e McBratney (2008), pequenas zonas de manejo são difíceis de serem manejadas, considerando subclasses, devido a limitações técnicas e econômicas. Quando se aumenta o número de classes, alguns *pixels* permanecem inalterados, enquanto que outros são reclassificados, isso se dá porque esses *pixels* apresentam fraca proximidade euclidiana com as classes alocadas e a classificação independe das coordenadas das variáveis. Pedroso et al. (2010) destacaram como limitante do algoritmo *fuzzy C-means* a desconsideração das coordenadas das variáveis durante o processo de classificação.

Pode-se observar nas Tabelas 5I, 6I e 7I que utilizando o método FCM, quando o agrupamento foi executado utilizando mais de um atributo e entre diferentes combinações, os valores médios dos centroides dos atributos, na maior parte das vezes, se mantiveram, considerando inclusive as classes.

Outro critério de verificação de similaridade consistiu na análise visual dos mapas (Figura 2I e 3I), onde se analisou a localização e composição das classes de zonas de manejo, com a finalidade de investigar as relações entre elas em diferentes combinações de atributos. Observou-se que houve similaridade entre as zonas de manejo “Ca, Ca-Mg”, “V, Ca-V, Ca-Mg-V”, “P-Ca, P-Mg, P-Ca-Mg, P-Ca-V”, “P-Ca-Mg-V, P, Ca-V”.

Os resultados sugerem que os atributos P e V% guiam, em maior parte, a delimitação das zonas de manejo. O V% era de se esperar uma vez que ele depende da soma de bases (Ca, Mg e K).

Diferentes fontes de dados podem ser usadas para a delimitação de zonas de manejo, com facilidade de aplicação, e economicamente mais viável que a amostragem total da área, para aplicações a taxas variáveis. Como exemplos, pode-se citar: a utilização do conhecimento do agricultor (FLEMING et al., 2000), dados de produtividade (DIKER et al., 2004; FLOWERS et al., 2005), amostragem de solo (DILLON et al., 2005; FRANZEN et al., 2002), imagens (STEWART e MCBRATNEY, 2001; TAYLOR et al., 2002), sensores de indução eletromagnética (LUND et al., 2001) e combinação desses dados (TAYLOR et al., 2003; KOCH et al., 2004; FLEMING et al., 2004; SCHEPERS et al., 2005; WHELAN et al., 2002).

É válido salientar que a área estudada é relativamente pequena (1,2 ha), em comparação com outros trabalhos encontrados na literatura de gerações de zonas de manejo, também não apresentando muita variabilidade, pois é devidamente

adubada, e ainda assim os resultados mostram a possibilidade de geração de áreas de manejo.

Vários atributos poder ser utilizados na delimitação de zonas de manejo de uma área. Sendo assim, sugere-se a utilização de atributos isolados ou combinados, que reflitam o comportamento do objeto em que se deseja caracterizar a variabilidade. Quanto maior a correlação entre os atributos utilizados na geração das zonas de manejo e o objeto do qual se deseja caracterizar, maior será a confiabilidade dos mapas gerados com os atributos.

As classes de manejo sugerem áreas que possuem comportamento parecido com relação aos atributos estudados, sendo, portanto um balizador dos pontos amostrais para o estudo da fertilidade da área.

4 CONCLUSÕES

A partir das zonas de manejo geradas, foi possível explicar a variabilidade espacial dos atributos na área de estudo e concluir que as similaridades entre as zonas de manejo geradas a partir de diferentes atributos demonstrou variação. Porém, observou-se uma influência nos dados, principalmente pelos atributos P e V%, indicando alguma coincidência entre as zonas geradas, permitindo propor uma amostragem mais direcionada, reduzindo o número de amostras.

Conclui-se ainda que, comparando os resultados obtidos neste trabalho com o trabalho proposto por STURIÃO (2012), a amostragem da área passa a ser mais direcionada, sendo necessários menos pontos amostrais, além de que houve diminuição do número de atributos estudados, confirmando a eficácia do método.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. M. de F.; ALCÂNTARA, G. R. de; REIS, E. D. dos; QUEIROZ, D. M. de; VALENTE, S. M. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 29, n. 1, p. 104-114, 2013.

ARAUJO, A. A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual de São Paulo.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 28, n. 4, p. 645-653, 2008.

CAMBOURIS, A. N.; NOLIN, M. C. 1; ZEBARTH, B. J.; LAVERDIÈRE, M. R. Soil Management Zones Delineated by Electrical Conductivity to Characterize Spatial and Temporal Variations in Potato Yield and in Soil Properties. **American journal of potato research**. Canadá, v. 83, p. 381- 395, 2006.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.1329-1339, 2007.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F.S. da. Nutrição e Adubação. In: MARTINS, D. dos S. (Ed). **Papaya Brasil**: qualidade do mamão para o mercado interno. Vitória: INCAPER, 2003, p.201-225.

DELALIBERA, H. C., WEIRICH NETO, P. H., NAGATA, N. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 32, n. 6, p.1197-1204, 2012.

DIKER, K.; HEERMAN, D. F.; BRODAHL, M. K. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 435–444, 2004.

DILLON, C. R.; SAGHAIAN, S.; SALIM, J.; KANAKASABAI, M. Optimal water storage location and management zone delineation under variable subsurface drip irrigation. p. 959–965. In: J.V. Stafford (ed.) Precision agriculture '05: Proc. 5th Conf. on **Precision Agriculture**, Uppsala, Sweden, 8–11 June 2005. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSo. 2006, 306p.

FLEMING, K. L.; WESTFALL, D. G. Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 201-215, 2000.

FLEMING, K. L.; HEERMAN, D. F.; WESTFALL, D. G. Evaluating soil color with farmer input and apparent soil electrical conductivity for management zone delineation. **Agronomy Journal**, 96, p. 1581–1587, 2004.

FLOWERS, M.; WEISZ, R.; WHITE, J. G. Yield-based management zones and gridsampling strategies: Describing soil tests and nutrient availability. **Agronomy Journal**, 97, p. 968–982, 2005.

FRANZEN, D. W.; HOPKINS, D. H.; SWEENEY, M. D.; ULMER, M. K.; HALVORSON, A. D. Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific nitrogen management. **Agronomy Journal**, 94, p. 381–389, 2002.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management zone analyst (MZA): softwares for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 100-1008, 2004.

GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, R.; CHIBA, M. K.; GREGO, C. R. Geostatistical analysis of crop yield maps in a long term no tillage system. **Bragantia**. Campinas, SP, v. 69, Suplemento, p. 9-18, 2010.

GRECO, C. R.; VIEIRA, R. S. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford University Press, Inc, New York, NY, 1989.

KITAMURA, E. A. **Inter-relações da variabilidade especial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - UNESP, Ilha Solteira, 2004.

KOCH, B.; KHOSLA, R.; FRASIER, W. M.; WESTFALL, D. G.; INMAN, D. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones. **Agronomy journal**, 96, p. 1572–1580, 2004.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Editora UNESP, 1998. 226p.

LUND, E. D.; WOLCOTT, M. C.; HANSON, G. P. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity and precision agriculture technology. **Anais...** 2nd Int. Nitrogen Conf. on Science and Policy. 14–18 October, 2001 Potomac MD. The Scientific World, New York, 2001.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, CE, v. 39, p. 19-27, 2008.

MENEZES, Z. S. de; MARQUES, J.; TADEU, G. P.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-deaçúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, vol. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. **FuzME version 3.0**, Australian Centre for Precision Agriculture, Sydney: The University of Sydney, 2002.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the *fuzzy* clustering technique. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 567-573, 2008.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2005.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, n.5, p.839-47, 2006.

MORARI, F.; CASTRIGNANÒ, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geoelectrical sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 68, p. 97-107, 2009.

PEDROSO, M.; TAYLOR, J.; TISSEYRE, B.; CHARNOMORDIC, B.; GUILLAUME, S. A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, p. 199-208, 2010.

PREZOTTI, L. C; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. (Eds). **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aprox. Vitória: INCAPER, 2007. 305p.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User´s Guide**. Plainwell, Gamma Desing Software, 2000. 152 p.

RODRIGUES JUNIOR, F.A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 8, p. 778–787, 2011.

RODRIGUES, M. S., CORÁ, J. E., FERNANDES, C. Soil sampling intensity and spatial distribution pattern of soils attributes and corn yield in no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 5, p. 852-865, 2012.

SANTOS, A. O.; PALLONE FILHO, W. J.; UNGARO, M. R. G.; LINO, A. C. L.; RADIN, B. Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura

de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, p. 463-468, 2003.

SCHEPERS, A. R.; SHANAHAN, J. F.; LIEBIG, M. A.; SCHEPERS, J. S.; JOHNSON, S. H.; LUCHIARO, A. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. **Agronomy Journal**, 96, p. 195–203, 2005.

SCHUELLER, J. K. **A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control of crop production**. Fertilizer Research, The Hague, v.33, p.1-34, 1992.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVEIRA, P. M. da; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C. da; CUNHA, A. A. da. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SONG, X.; WANG, J.; HUANG, W.; LIU, L.; YAN, G.; PU, R. The delineation of agricultural management zones with high resolution remotely sensed data. **Precision Agriculture**, v. 10, p. 471-487, 2009.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 23, n. 3, p. 486-495, 2003.

STEWART, C. M.; MCBRATNEY, A. B. Using bare soil imagery to determine management zones for the variable-rate application of inputs for cotton. p. 319–324. In: G. Grenier and S. Blackmore (ed.) ECPA 2001: **Anais...** 3rd European Conf. on Precision Agriculture, Montpellier, França, agro-Montpellier ENSAM, Montpellier, França.

STURIÃO, W. P. **Distribuição espacial de atributos de solos e de plantas na cultura do mamoeiro no norte capixaba**. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. 2012.

TAYLOR, J. A.; MCBRATNEY, A. B.; CIAVARELLA, R. Predicting and mapping winegrape quality from multiple must properties. p. 614–623. In: P.C. Robert (ed.) **Anais...** of the 6th Int. Conf. on Precision Agriculture, 14–17 Julho, 2002, Minneapolis, MN. ASA, Madison, WI. 2002.

TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; EARL, R.; GODWIN, R. J. Soil factors and their Influence on Within-field Crop Variability, Part II: Spatial Analysis and Determination of Management Zones. **Biosystems Engineering**, v.4, p.441-453, 2003.

TAYLOR, J. A.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. Establishing management classes for broadacre agricultural production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 1366-1376, 2007.

TISSEYRE, B.; MCBRATNEY, A. B. A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management: an application to viticulture. **Precision Agriculture**, v. 9, n. 1-2, p. 101–113, 2008.

XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUNA, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAIB, W.; QINGHUAB, L.; XU-FENG, L.; WEI-HONG, H.; YAN-TAOC, L. Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 65, p. 168-175, 2009.

YAN, L.; ZHOU, S.; FENG, L.; HONG-YI, L. Delineation of sitespecific management zones using *Fuzzy* clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, p.174-186, 2007.

YAN, L.; ZHOU, S.; CI-FANG, W.; HONG-YI, L.; FANG, L. Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 9, n. 1, p. 68-76, 2008.

YONAMINE, F. S.; SPECIA, L.; CARVALHO, V. O.; NICOLETTI, M. C. **Aprendizado não supervisionado em domínios Fuzzy – Algoritmo Fuzzy C-means**. São Carlos: UFSCAR, 2002. 18p.

WARRICK A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.

WHELAN, B. M.; CUPITT, J.; MCBRATNEY, A. B. Practical definition and interpretation of potential management zones in Australian dryland cropping. p. 315–329. In: P.C. Robert, R. H. Rust, and W. E. Larson (ed.) **Precision Agriculture: Anais...** 6th Int. Conf. on Precision Agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 2002.

WIEDA, R.; BORGELT, S. T. **Geoestatistical analysis of platn nutrients from sample nested grids**. St. Joseph, ASAE Paper. MCR 93-131, 14 p. 1993.

ZADEH, L. A. *Fuzzy sets*. **Information and control**. v. 8. p. 338-353, 1965.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2001.

CAPÍTULO II
DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS AO USO PÚBLICO NO PARQUE
ESTADUAL DA CACHOEIRA DA FUMAÇA-ES UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO

Artigo aceito para publicação na Revista *Árvore*.

RESUMO

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (PECF) está localizado entre os municípios de Alegre e Ibitirama, no sul do Estado do Espírito Santo, possuindo área aproximada de 162,50 hectares. Levando-se em consideração a importância ambiental do PECF para o Estado do Espírito Santo, a necessidade de proteção dos ecossistemas da Mata Atlântica e suas formações associadas, bem como o aprimoramento das técnicas de gestão, com utilização de geoprocessamento, este trabalho propõe subsídios aos gestores, enfocando principalmente as áreas degradadas por atividades antrópicas. Os materiais utilizados foram: ortofoto do ES, mapa de curvas de nível obtido do Geobases e para coleta de dados em campo utilizou-se GPS diferencial. Os fatores relevantes para avaliação dos aspectos relacionados ao ecoturismo que foram utilizados para produzir os mapas de adequabilidade, seguindo uma ordem de prioridade estabelecida pelo método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foram: fator cachoeira, uso dos solos, massa de água (contendo os rios), trilhas, locais de acessos, estruturas e declividade. Após a combinação dos fatores, foi gerado o mapa de adequabilidade para uso público, com superfície de adequabilidade mostrando a aptidão e representando o zoneamento da área do PECF para o objetivo proposto. A partir do zoneamento da Unidade de Conservação foi possível mostrar as áreas com diferentes graus de aptidão ao

ecoturismo de acordo com suas distâncias da cachoeira, trilhas, e da área de Mata Atlântica.

Palavras chaves: Ecoturismo. Zoneamento. Análise multicritério.

DEFINITION OF PRIORITY AREAS FOR USE IN PUBLIC PARQUE ESTADUAL DA CACHOEIRA DA FUMAÇA - ES USING GEOPROCESSING

ABSTRACT

The “Cachoeira da Fumaça” State Park (PECF) is located between the municipalities of Ibitirama and Alegre, in the Southern region of Espírito Santo State, comprising an area of approximately 162.50 hectares. Taking into account the environmental importance of PECF for the State of Espírito Santo, the need to protect the ecosystems of the Atlantic Forest and its associated formations, as well as the improvement of management techniques with the use of geoprocessing, this paper proposes subsidies to managers, mainly focusing on the areas degraded by human activities. The materials used were: Orthophoto of Espírito Santo, contour lines map obtained from Geobases and a differential GPS was used to collect data in the field. The relevant factors for the assessment of aspects related to ecotourism that were used to produce maps of suitability factors, following an order of priority established by the method Analytic Hierarchy Process (AHP), were: waterfall factor, land use, water body (containing the rivers), trails, access sites, structures and slope. After the combination of factors, a map of suitability for public use was generated, with surface showing the suitability and fitness representing the zoning of the area for the proposed PECF goal. From the zoning of the Conservation Unit, it was able to show areas with different degrees of aptitude to ecotourism according to their distances from the waterfall, trails, and the Atlantic Forest.

Keywords: Ecotourism. Zoning. Multi-criteria analysis.

1. INTRODUÇÃO

O Parque Estadual Cachoeira da Fumaça (PECF) é uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral localizada no sul do Estado do Espírito Santo, entre os municípios de Alegre e Ibitirama. O parque teve sua área original de 24 hectares desapropriada em 1984, no entanto, só foi legalmente instituído em 2009 no momento da sua ampliação, passando a ocupar uma área de 162,5 hectares (IEMA, 2014). De acordo com Sanches (2012), o principal atrativo turístico do parque, e que levou a sua criação, é a cachoeira da Fumaça, com queda d'água de 144 metros e grande beleza cênica da região que se insere no bioma da Mata Atlântica.

De acordo com Sistema Nacional de Unidade de Conservação (BRASIL, 2000), Lei Nº 9.985, as UCs são definidas como meios utilizados com objetivo de garantir a recuperação, conservação e restauração da biodiversidade. Ainda segundo a lei, os parques nacionais, estaduais e municipais são enquadrados na categoria de proteção integral, que são áreas com propósito básico de preservar ecossistemas naturais de relevância ecológica e beleza cênica, e onde pesquisas científicas, turismo ecológico e atividades de educação ambiental são permitidos.

O plano de manejo da UC é um documento oficial que todo parque deve possuir, para direcionar a gestão, e deve conter alternativas de utilização do parque, assim como as restrições e limitações ao uso de cada área, e ainda a zona de amortecimento. O PECF possui Plano de Manejo (IDAF, 2001) que está passando por uma atualização devido a mudanças na legislação e na área de amortecimento do parque e, principalmente, por não representar a atualidade da UC e o órgão responsável por sua gestão é o Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA). Assim, o produto deste trabalho tem a pretensão de auxiliar os gestores nessa atualização, bem como nortear as limitações ao uso de cada área.

A delimitação de áreas apropriadas ao uso público em UC é de extrema importância para a administração, visto que auxilia os gestores a adequar o uso dos turistas e a necessidade de conservação de forma a gerar o menor impacto possível sobre os recursos naturais.

Os parques nacionais foram criados de acordo com o Código Florestal em 1934 (decreto 23.793); com a reforma do código em 1965, os parques foram

considerados a principal forma de preservação total, mas somente com o Decreto nº 84.017 de 1979 é que ocorreu a sua regulamentação, definindo também os fundamentos para a instalação e administração dessas áreas (MEDEIROS e PEREIRA, 2011).

Ainda de acordo com os autores os parques representam a categoria mais expressiva entre aquelas de preservação total e a segunda com maior alcance entre todas as unidades de conservação. Mesmo com essa importância, são muito escassas as informações a respeito de um plano de manejo adequado, e sua viabilidade em um método de gestão. A maioria dos parques no Brasil dispõe de plano de manejo, porém nem sempre estão atualizados ou possuem qualidade adequada para orientar uma boa gestão, pois são muito diversos, o que torna difícil apontar um que tenha todas as características requeridas para tal. Alguns contam com excelente informação de base, outros têm uma boa informação cartográfica ou fazem uma discussão de alternativas de solução aos problemas de manejo detectados. Poucos são os planos de manejo que reúnem todas as qualidades requeridas e que tenham estratégias que possam torná-los executáveis, não cumprindo sua função (DOUROJEANNI, 2005).

O ecoturismo é uma atividade que vem adquirindo uma maior popularidade na sociedade, e de acordo com Brasil (2010) prioriza a utilização do patrimônio natural e cultural, de forma sustentável, promovendo o bem estar dos envolvidos. Devido à falta de estudos e regulamentação dos planos de manejos das UC, muitas vezes essa atividade ocorre de maneira desordenada, causando assim degradação ao meio ambiente.

Moraes et al. (2008) enfatizam a importância de uma administração estratégica dos empreendimentos que visem o ecoturismo, já que esta é uma das diversas atividades que causam grande impacto ao meio ambiente. Essa administração seria contínua e interativa, onde se faria uma verificação do ambiente, a consignação de direções organizacionais, por exemplo.

De acordo com Oliveira et al. (2010), a exclusão das pessoas com o intuito de se proteger uma área cria graves conflitos em todo o mundo, mesmo assim essa é a principal forma de preservação ambiental. Há uma necessidade de se realizar um planejamento das áreas ambientais destinadas ao turismo, já que estas são a matéria-prima para o sustento de muitas comunidades.

Sendo assim, visando o planejamento da UC e levando-se em consideração a importância ambiental do PEF para o Estado do Espírito Santo, a necessidade de proteção dos ecossistemas da Mata Atlântica e suas formações associadas, bem como o aprimoramento das técnicas de gestão, com a utilização de geoprocessamento, este trabalho propõe subsídios aos gestores, enfocando principalmente as áreas degradadas por atividades antrópicas, sendo o impacto turístico o maior problema encontrado na área, por acontecer de forma desordenada na UC.

As técnicas que foram utilizadas neste trabalho diferem das que vêm sendo utilizadas por outros autores ou gestores, uma vez que aplica a análise multicritério, visando à seleção de áreas mais adequadas ao uso público.

A análise multicritério vem sendo usada nas mais diversas áreas do conhecimento (CARVALHO et al., 2011; ROQUE, et al., 2013; ANTUNES, 2012; CABRAL, 2012; REZAEI e ORTT, 2013), a fim de definir melhores áreas a um determinado empreendimento. Porém, na definição de áreas prioritárias ao ecoturismo, temos uma lacuna a ser preenchida por essa metodologia, uma vez que não existem trabalhos, principalmente considerando a lógica *fuzzy* como técnica de normalização dos dados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área em estudo

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (Figura 1II) está localizado nos municípios de Alegre e Ibitirama, na região do Caparaó, sul do Estado do Espírito Santo e está compreendido entre as coordenadas E = 227500 m e 229400 m e N = 7717700 m e 7715800 m.

De acordo com a classificação de Köppen (KÖPPEN, 1948), o clima da região é caracterizado como Tropical Chuvoso (Aw), com temperatura média anual abaixo de 15° C e precipitação média anual de 1700 mm. O relevo caracteriza-se como montanhoso (IDAF, 2001) e a vegetação é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual, sob domínio da Mata Atlântica (IBGE, 1993).

De acordo com Turbay et al. (2012), a Serra do Caparaó está estruturada como um grande domo, apresentando grande contraste de altitudes, como por exemplo, o formador da cachoeira e das escarpas dos morros no entorno.

Caracteriza-se pela presença de duas unidades litológicas principais, sendo elas: Biotita-gnaiss e granada-biotita-gnaiss.

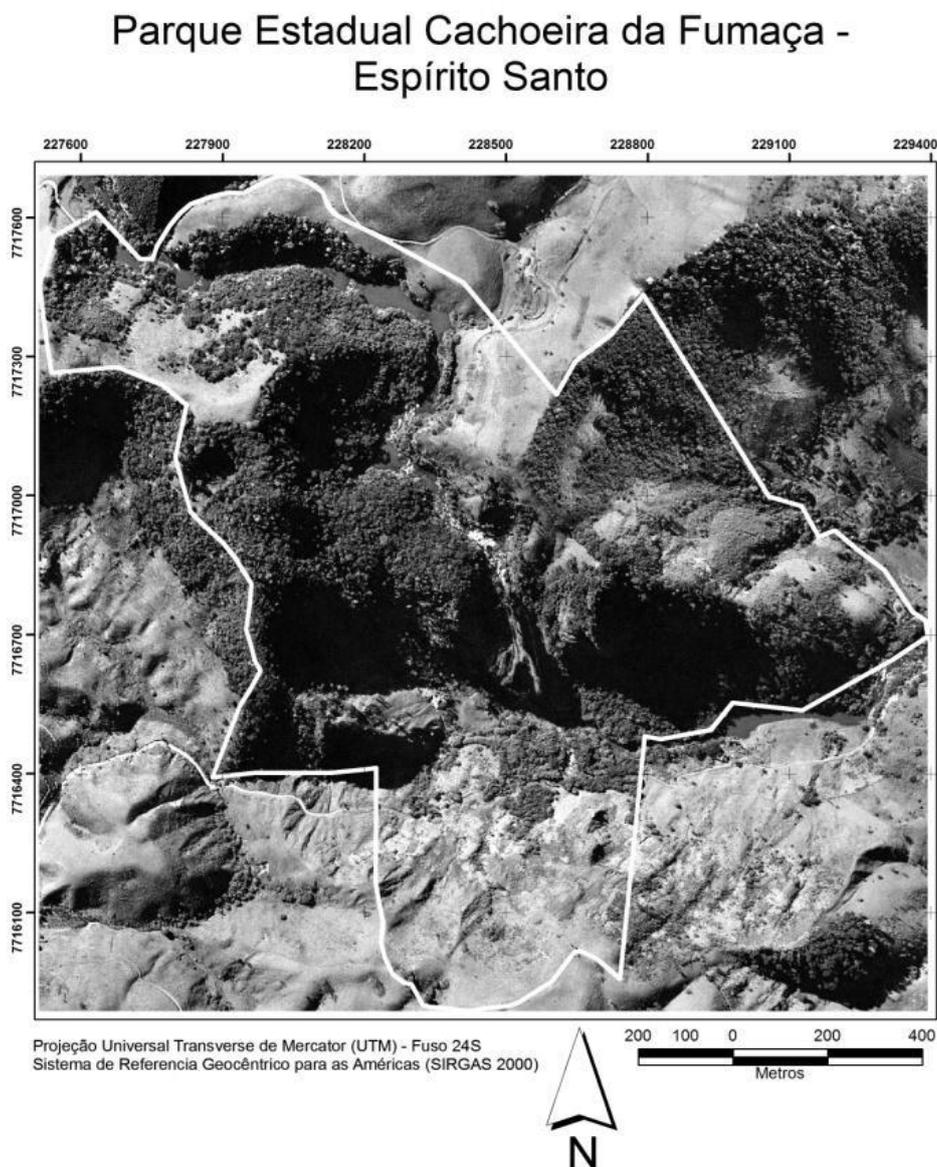


Figura 1II - Ortofoto do Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça.

Fonte: Adaptado de IEMA (2007).

2.2 Material

Para realização deste trabalho foram coletados dados em campo, de trilhas, com marcação de pontos utilizando GPS diferencial. Utilizou-se também ortofotos, compatíveis com a escala 1:15.000, obtidas junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA, 2007), a partir das quais, foram vetorizadas as feições massa d'água e estruturas; o mapa de curvas de nível, foi obtido do

Geobases (2002), na escala 1:50.000; e o mapa de uso do solo utilizado possui escala 1:50.000. A fim de compatibilizar a base cartográfica, os mapas foram transformados em *raster*, em ambiente de SIG, considerando a resolução espacial de 7 metros, o que permite operações de sobreposição entre diferentes camadas de informações.

O mapa de ocupação e uso do solo ou uso da terra indica toda cobertura vegetal presente no PECTF, sendo elas: áreas de pastagem, estágio avançado, intermediário e inicial de sucessão ecológica e macega. Esse mapa é essencial para fornecer subsídios para promover a adequação e gerenciamento do uso público aos ambientes.

2.3 Procedimentos técnicos

Os procedimentos técnicos adotados no presente trabalho incluíram o levantamento e a análise das condicionantes, por meio da aquisição, armazenamento e descrição dos dados vetoriais e *raster*, para posterior análise espacial. Foi utilizada a lógica *fuzzy* para gerar a padronização de todos os mapas de fatores e a análise multicritério para fazer a combinação dos fatores com seus respectivos pesos em um único mapa.

2.3.1 Critérios escalonados (fatores)

De acordo com Benda et al. (2012) um fator é um critério que destaca ou diminui a adequabilidade de uma alternativa, definindo o quanto o ambiente ou área está apto ao uso considerado. As alternativas são definidas em termos de uma medida contínua de adequabilidade que varia de 0 a 255, enfatizando ou atenuando a importância de uma alternativa em consideração.

Os fatores (cachoeira, uso dos solos, massa de água contendo os rios, trilhas, locais de acessos, estruturas e declividade) foram normalizados a partir da aplicação de conjuntos *fuzzy*, dando a todas as localizações um valor que representou o seu grau de adequabilidade.

2.3.2 Avaliação de pesos para os critérios

A importância relativa dada a cada critério é uma das dificuldades encontradas para tomada de decisão, visto que cada tomador de decisão julga justo uma ordem de prioridade de acordo com sua visão do ambiente.

De acordo com Calijuri et al. (2002), para estabelecer normas de como um determinado atributo interfere no processo de classificação, é necessário a aplicação do conjunto *fuzzy*. Essa pertinência se dá por uma transição gradual variando de 0 a 255. Ao contrário da lógica booleana, onde a condição de fazer parte ou não é uma transição abrupta, havendo apenas duas possibilidades definidas, 0 ou 1. Após a normalização, atribui-se pesos aos critérios, quantificando a importância relativa de cada um deles no processo de decisão e embora não exista um método consensual para a atribuição de pesos, o que será utilizado neste trabalho é o método baseado na comparação de critérios par a par.

A escolha das áreas aptas ao uso público sofre interferência direta dos fatores que contribuem com diferentes valores no processo final de decisão. Dessa forma, foi estabelecida a ponderação dos fatores de acordo com sua importância e o peso final de cada fator foi estimado através do método AHP (*Analytical Hierarchy Process* - Processo de Hierarquização Analítica) aplicado à matriz de comparação par a par, obtendo-se os pesos para fatores utilizados.

2.3.3 Normalização dos fatores

Para normalização dos fatores, foi utilizada a função de pertinência da teoria de conjuntos *fuzzy* monotônica sigmoidal decrescente (Figura 2II), onde 255 representa a adequabilidade máxima e decresce até zero, que representa adequabilidade mínima para o fator avaliado.

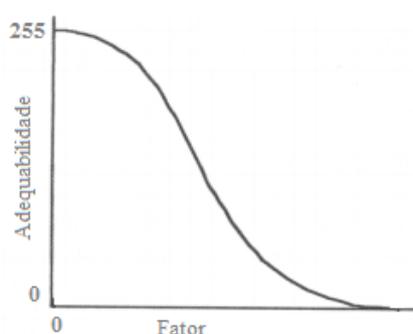


Figura 2II - Função de pertinência sigmoidal monotônica decrescente para padronização dos fatores.

O fator uso do solo foi reclassificado atribuindo às classes valores de 0 a 255 como pode ser verificado na tabela 1II. Essa reclassificação levou em consideração

a vulnerabilidade de cada cobertura vegetal e a sua capacidade de regeneração natural devido à utilização da área pelos visitantes, de acordo com a sucessão ecológica, sendo as áreas com maior perturbação as mais vulneráveis.

Considerando a escala utilizada, e sendo o mapa de uso do solo composto por classes, impossibilitando a aplicação direta da função de pertinência *fuzzy*, fez-se a reclassificação deste, considerando classes de adequabilidade variando dentro dessa escala. Os valores de cada classe foram estipulados levando-se em consideração que a pastagem possui maior vulnerabilidade ao uso, seguida pela macega, que apesar de não poder ser considerada formação florestal, possui menor grau de degradação quando comparada a pastagem, possibilitando seu uso. A classe estágio intermediário de sucessão ecológica foi considerada de maior adequabilidade uma vez que o estudo aborda o uso público da área, o que seria impraticável para o estágio avançado de sucessão, por ser esta de formação mais fechada. Além disso, a classe intermediária possui maior número de espécies do grupo das secundárias iniciais e tardias, que aceleram a regeneração natural após a abertura de clareiras ou outras intervenções (MARTINS, 2013). Qualquer intervenção na classe de estágio avançado acarretaria numa regeneração mais lenta quando comparada ao estágio de sucessão ecológica intermediária.

Tabela 1II - Normalização das classes de uso do solo

Classes de uso do solo	Valor atribuído
Estádio avançado de sucessão ecológica	225
Estádio intermediário de sucessão ecológica	255
Estádio inicial de sucessão ecológica	195
Macega	165
Pastagem	0

Para os visitantes, quanto mais próximo dos rios e cachoeiras, mais adequado o uso, visto que o ecoturismo busca explorar a beleza cênica oferecida pelo meio ambiente. Entretanto, sabendo-se que a ação antrópica pode interferir na conservação, no que diz respeito às nascentes e minas d'água deve-se respeitar um

limite mínimo de 50 metros para a preservação do ambiente, previsto no código florestal brasileiro (BRASIL, 2012).

Para normalização do fator declividade foram consideradas áreas impróprias para uso as com declividade acima de 45 graus. É importante delimitar áreas íngremes para racionalizar o uso público para locais apropriados, dessa forma a delimitação das áreas íngremes foi feita a partir do mapa de declividade. As áreas que possuem declividade acima de 45 graus de inclinação, de relevo escarpado, foram consideradas impróprias para uso público, pois dificultam a acessibilidade, assim como geram risco de quedas nas caminhadas dos visitantes. Além disso, segundo o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), áreas em topos de morros ou com inclinação acima dos 45° devem ser preservadas.

Para normalização do fator massa d'água, as distâncias de 0 a 2 metros foram reclassificadas como de alta adequabilidade (valor 255), considerando que os recursos hídricos são de interesse para o ecoturismo e são áreas ideais e quanto mais longe destes, pior a adequabilidade da área ao uso.

Nas trilhas, há alta adequabilidade para o ecoturismo, visto que os locais além de estarem demarcados proporcionam facilidade para caminhar, pois ao demarcar uma trilha procura-se o caminho de mais fácil acesso. À medida que se afasta da trilha original, o visitante pode criar mais impactos negativos ao ecossistema, como pisoteamento e compactação do solo, criação de caminhos preferenciais de drenagem, erosão, degradação do ecossistema como um todo, etc. Assim, a adequabilidade foi definida maior quanto mais próxima da trilha, sendo que acima de 30 metros de distância, a adequabilidade torna-se nula (valor 0), considerando uma visibilidade média para evitar que os turistas se percam.

O mapa de estruturas, que considerou as estruturas que o parque contém para apoio ao recebimento do turista, sendo elas: banheiros, sala de espera, lanchonete, bebedouro, assentos, etc., foi gerado através de levantamento de dados em campo. Quanto mais próxima à área estiver das estruturas do parque, maior a adequabilidade.

O acesso a uma área de conservação deve ser feito por pontos de acesso já estruturados, para que seja evitado o uso descontrolado da área. Os pontos de acesso possuem geralmente uma estrutura adequada para receber os visitantes, além de possuírem trilhas já demarcadas e sendo utilizadas. Caso os visitantes prefiram conhecer o parque por outros locais, podem comprometer os recursos

naturais disponíveis, assim como gerar sérios impactos. Assim, quanto mais longe dos pontos de acesso, menor a adequabilidade da área.

2.3.4 Combinação dos critérios

Para a elaboração do mapa final de zoneamento de áreas favoráveis ao ecoturismo, o valor de cada um dos fatores foi combinado através do método de combinação linear ponderada, que é um modelo matemático (equação 1) onde o resultado final (F) será o somatório do valor de todos os fatores (P_{ij}) multiplicados pelos seus respectivos pesos (X_i) (EASTMAN et al., 1995).

$$F = \sum P_{ij} \cdot X_i \quad (1)$$

Os pesos foram adotados levando-se em consideração uma ordem de importância, na qual se atribui diferentes valores relativos a cada um dos fatores no processo de agregação, indicando a importância relativa de todos os fatores e a compensação entre eles. Os pesos são desenvolvidos por uma série de comparação de pares, de importância relativa de cada um dos fatores à adequabilidade dos *pixels* à atividade que está sendo avaliada.

Levando-se em consideração sua influência sobre a análise, utilizou-se a seguinte ordem de prioridade dos fatores: declividade, estruturas, acesso, trilhas, massa d'água, uso do solo e cachoeira.

3. RESULTADOS

Os mapas de fatores (Figura 3II) fornecem uma ideia inicial de como será o mapa final, uma vez que estes serão relacionados entre si através da Combinação Linear Ponderada.

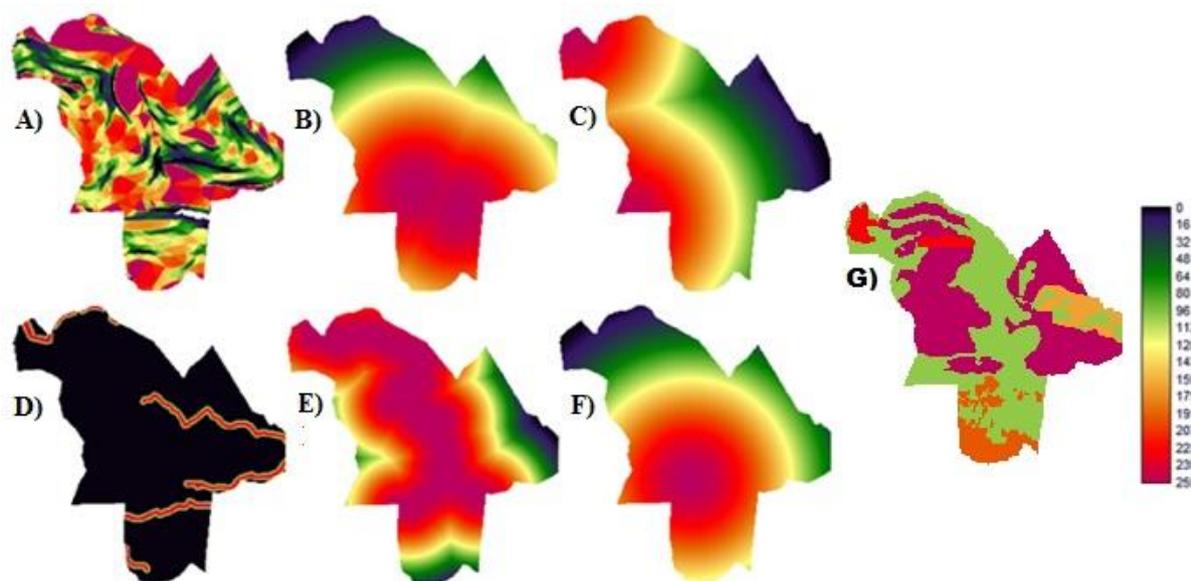


Figura 3II – A) Fator declividade; B) Fator estruturas; C) Fator acesso; D) Fator trilhas; E) Fator massa de água; F) Fator cachoeira; e G) Fator uso do solo.

O mapa de declividade (Figura 3IIA) mostra que grandes áreas são aptas ao ecoturismo, visto que possuem baixa declividade (menor que 45°). O mapa de estruturas (Figura 3IIB) mostra que há maior adequabilidade ao ecoturismo no centro do parque, pois correspondem às áreas onde se encontram as estruturas de suporte ao turista. Para os mapas de acesso (Figura 3IIC), pode-se observar que as áreas de mais alta favorabilidade estão na parte noroeste e oeste do parque e indicam os melhores caminhos para se chegar ao parque. Observando o mapa de trilhas (Figura 3IID), verifica-se que há apenas uma pequena faixa de favorabilidade, pois ao afastar-se da trilha aumentam os riscos de se perder além de poder criar mais impactos negativos ao ecossistema. No mapa de massa d'água (Figura 3IIE), é possível identificar uma grande zona de favorabilidade alta, pois o parque é cortado por esse corpo hídrico e é uma de suas atrações. O fator cachoeira (Figura 3IIF), que é o principal dos fatores, possui sua maior faixa de adequabilidade no meio do parque, visto que é onde está localizada a Cachoeira da Fumaça. No mapa de uso do solo (Figura 3IIG), observa-se alta adequabilidade da classe estágio intermediário de sucessão ecológica (valor 255), seguido pelo estágio avançado (valor 225), estágio inicial (valor 195), macega (valor 165) e inaptidão ao uso para a classe pastagem (valor 0).

4. DISCUSSÃO

O resultado final dos pesos calculados para o fator declividade foi 0,0823, para o fator estruturas 0,1009, para o fator acesso 0,1154, para o fator trilhas 0,1352, para o fator massa de água 0,1580, para o fator uso do solo 0,1814 e para o fator cachoeira 0,2268. A proporção de consistência foi zero, indicando que os pesos dos fatores foram aceitáveis na análise.

Após a aplicação da Combinação Linear Ponderada, foi gerado o mapa de adequabilidade (Figura 4II) que apresenta os valores variando entre 0 e 255, onde áreas com adequabilidade 0 não possuem potencial para o ecoturismo e as com valor 255 representam os melhores lugares para visitação do parque.

A partir do mapa da figura 4II,   possível selecionar áreas com maior potencial ecotur stico, desenvolvendo assim treinamento específico para os guias do parque com o intuito de melhor conduzir os turistas. Além disso, o mapa nos permite verificar outras áreas que podem possuir boa aptidão e direcionar para a visitação dessas áreas, através de novas rotas, trilhas ou passeios sugeridos pelos gestores do parque, a fim de explorar melhor as belezas do parque de forma consciente.

Resultados semelhantes foram encontrados por diversos autores, utilizando análise multicritério combinada com algum método de comparação, como por exemplo: Calijuri et al. (2002), estudando áreas para implantação de aterro sanitário; Zambon et al. (2005), estudando a localização de usinas termoelétricas; Caixeta et al. (2012), mapeando áreas susceptíveis a movimentos de massa; e Franco et al. (2013), estudando áreas prioritárias para restauração de área de Preservação Permanente.

Pode-se notar a grande influência do fator cachoeira no mapa final de adequabilidade, já que o mesmo possui o maior peso entre os demais fatores e representa o cartão-postal do parque. Outro fator que influenciou mais no mapa final é o fator uso dos solos, pois considerando que o parque trata-se de área de mata Atlântica, essas áreas foram prioritárias nas análises.

Podemos observar no mapa da figura 4II, que podem ser estudadas áreas de acesso e de interesse ao ecoturismo. Para isso, torna-se de fundamental importância definir qual o valor que representa baixa e alta adequabilidade, com intuito de atender os padrões para o ecoturismo na UC.

Análise multicritério com fins de ecoturismo para o
Parque Estadual Cachoeira da Fumaça - Espírito Santo

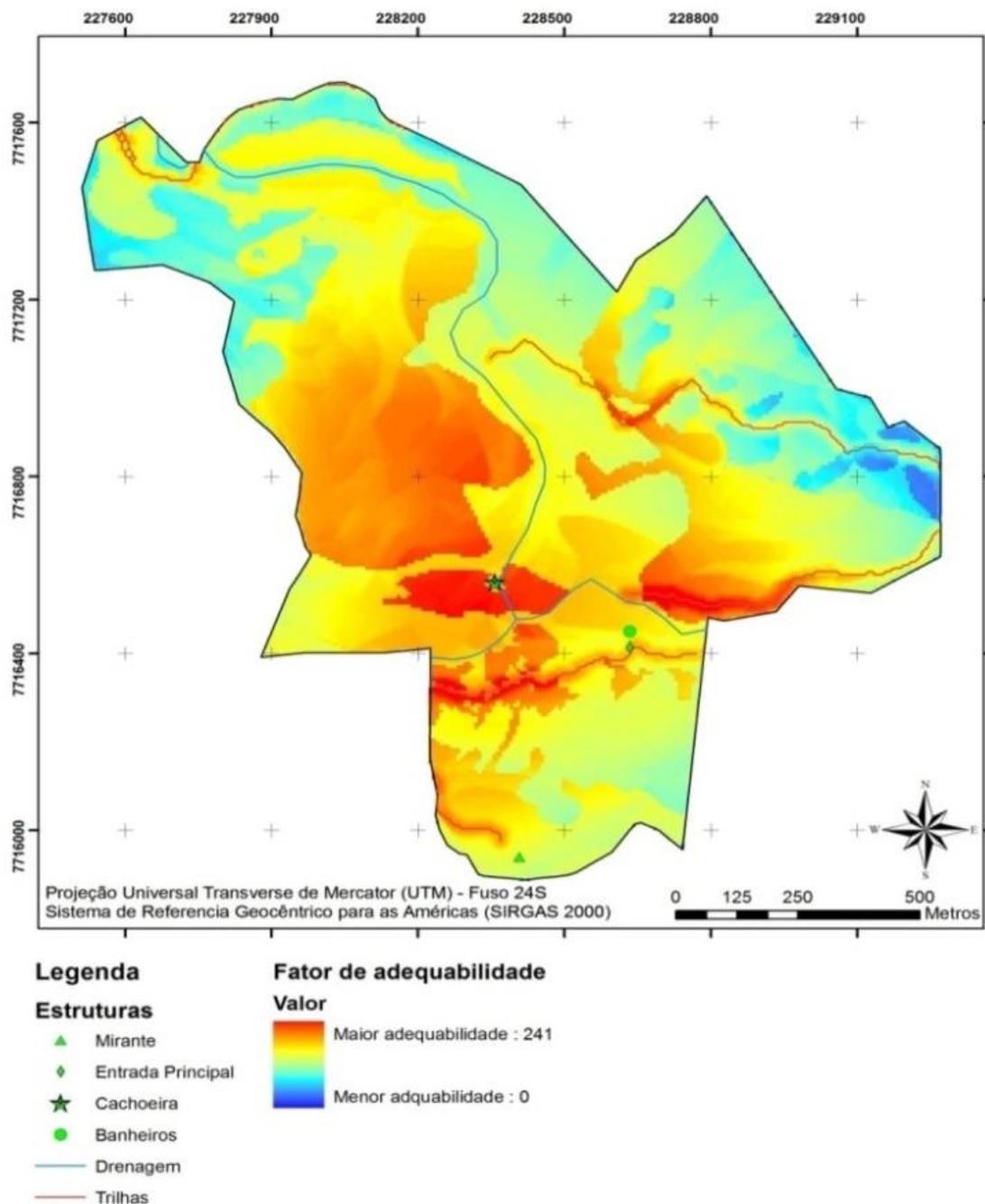


Figura 4II - Mapa final da análise multicritério mostrando as diferentes aptidões ao ecoturismo dentro do Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça.

Após comparação dos dados gerados no mapa da figura 4II, e seguindo o que Calijuri et al. (2002) definiram como adequabilidade alta, definiu-se que áreas com adequabilidade acima de 200, seriam as áreas mais indicadas para o ecoturismo. Assim, podem ser definidas quatro principais áreas com alta

adequabilidade, que estão próximas da cachoeira, das estruturas do parque e de trilhas, ou então estão em áreas de Mata Atlântica.

5. CONCLUSÃO

Com o zoneamento da UC foi possível indicar áreas aptas ao ecoturismo e propor orientação aos gestores para restringir o uso em ambientes não adequados e que estão sendo utilizados atualmente, como por exemplo, em locais próximos a trilhas, porém com baixa adequabilidade. Assim, utilizando o mapa final como guia e observando o potencial turístico do PECF, é possível incluir novas atividades de recreação, como passeios em áreas que possuem grande potencial para uso público, mas ainda não são utilizadas.

A aplicação da análise multicritério aliada a uma boa base de dados foi essencial para promover o zoneamento do PECF. O método facilitou a ponderação dos fatores considerados importantes e apresentou resultados satisfatórios na geração de mapas temáticos. A interação e a influência de cada fator no zoneamento podem variar de acordo com os objetivos que venham a ser propostos pelos gestores das UCs e podem contribuir para a produção de diferentes planos de manejo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo financiamento do trabalho e pelas bolsas concedidas, aos gestores do Parque Estadual Cachoeira da Fumaça (PECF), pela contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa e a Universidade Federal do Espírito Santo, por disponibilizar a sua infraestrutura para o processamento dos dados.

7. REFERÊNCIAS

ANTUNES, Ó. E. D. **Análise multicritério em SIG para determinação de um índice espacializado de pressão antrópica litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro.** 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território com especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica) – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

BENDA, F.; ALVES, M. da G.; OLIVEIRA, C. H. R. de. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos de Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia** (online), v. 64/1, p. 33-44, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. **Constituição Federal**, Brasília, DF. Institui o Sistema Nacional de Unidade de Conservação.

BRASIL. Ministério do Turismo. **Ecoturismo: orientações básicas**. Ministério do Turismo, Secretaria Nacional de Políticas de Turismo, Departamento de Estruturação, Articulação e Ordenamento Turístico, Coordenação Geral de Segmentação. 2. ed. – Brasília: Ministério do Turismo, 2010.

BRASIL. **Lei federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Legislativo, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Seção 1, p. 1.

CABRAL, A. V. **Análise multicritério em Sistema de Informação Geográfica para localização de aterros sanitários**. O caso da região sul da Ilha de Santiago, Cabo Verde. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território com especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica) – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

CAIXETA, P. R. C; PIMENTA, D. F. N.; AMARAL, R. V. do; SCHAEFER, C. E. Análise multi-critério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massas na área urbana de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 9, 2012, Recife. **Anais...Recife-PE**: 2012. p. 1-9.

CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Revista de Informática Pública**. Belo Horizonte-MG: v. 4, n. 2, p. 23-250, 2002.

CARVALHO, J. R. M. de; CURI, W. F; CURI, R. C.; CARVALHO, E. K. M. de A. Metodologia para avaliar a sustentabilidade ambiental de municípios utilizando análise multicritério. **Revista REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Sousa-PB: v. 1, n. 1, p. 18-34, 2011.

DOUROJEANNI, M. Planos de manejo I. **Eco**, Rio de Janeiro, set. 2005. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/marc-dourojeanni/16369-oeco_13756>. Acesso em: 14 mar. 2014.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Rasters procedures for multicriteria/ multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu-PR: 2013. 3366-3373.**

GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2002. INCAPER. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>. Acesso em: 03 ago 2013.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1p. 1993.

IDAF - Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do ES. Plano de manejo do Parque Estadual Cachoeira da Fumaça. Versão resumida. MMA. FNMA. 42p, 2001.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Ortofoto Mosaico cedido pelo IEMA. Vitória (ES), 2007. 06 Ortofotos.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Parque Estadual Cachoeira da Fumaça. Vitória (ES), 2014. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp?pagina=16700>>. Acesso em: 01 maio 2014.

KÖEPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra. México: **Fondo de Cultura Economica**, 1948, 478p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 3. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2013. v. 1. 264p.

MEDEIROS, R.; PEREIRA, G. S. Evolução e implementação dos planos de manejo em Parques Nacionais no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, Viçosa-MG: v. 35, n. 2, p. 279-288, 2011.

MORAES, W. V. de.; RIBEIRO, G. A.; LIMA, G. S.; GONÇALVES, W. Zoneamento do distrito de Rancharia, município de Lima Duarte, MG, entorno do Parque Estadual da Serra do Ibitipoca, com fins de manejo do ecoturismo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG: v. 32, n. 4, p. 751-758, 2008.

OLIVEIRA, F. T.; SILVA, I. C.; MATOS, J. F. R.; HARA, F. A. dos S. Ecoturismo no Rio Puraquequara: suporte para inclusão social e proteção ambiental. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia: v. 22, n. 2, p. 283-295, 2010.

REZAEI, J.; ORTT, R. Multi-criteria supplier segmentation using a *fuzzy* preference relations based AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 225, n. 1, p.75-84, 2013.

ROQUE, N.; LIDÓNIO, E.; FERNANDEZ, P.; ANJOS, O. Utilização de análise multicritério para avaliação do potencial apícola. In: Encontro de Sistemas de Informação Geográfica, 4, Castelo Branco - Aplicações SIG em Recursos Agro-Florestais e Ambientais: livro de resumos. Castelo Branco : IPCB. P.84-85, 2013.

SANCHES, J. Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça. **Revista ES Brasil**, Vitória-ES: v. 2, n. 82, p. 39-41, 2012.

TURBAY, C. V. G.; SILVA, R. C.; CARVALHO, T. R. R.; MUNARO, E. R. Cartografia Geológica Preliminar e Petrologia no Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, ES - Subsídios para Gestão de Unidade de Conservação. **Revista Geografares**, Vitória-ES: n. 10, p.176-202, 2012.

ZAMBON, K. L. CARNEIRO, A. A. de F. M. ; SILVA, A. N. R. da. NEGRI, J. C. **Pesquisa Operacional**, São José dos Campos-SP: v. 25, n. 2, p.183-199, 2005.

CAPÍTULO III
APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO E LÓGICA *FUZZY* PARA A CRIAÇÃO
DE ZONEAMENTO NO PARQUE ESTADUAL DA CACHOEIRA DA FUMAÇA-ES
PARA FINS DE CONSERVAÇÃO

Artigo aceito para publicação na Revista Brasileira de Cartografia.

RESUMO

O Parque Estadual Cachoeira da Fumaça (PECF) foi criado em 24 de agosto de 1984, possui área aproximada de 162,50 hectares, situando-se nos municípios de Alegre e Ibitirama/ES. O presente trabalho objetivou criar um zoneamento para o PECF, com a finalidade de oferecer aos gestores uma ferramenta que auxilie na tomada de decisões relativas à alocação de áreas propícias à conservação, através de análise multicritério e de técnicas de geoprocessamento. Os materiais utilizados foram: ortofotos do ES, mapa de curvas de nível obtido do Geobases e para coleta de dados em campo utilizou-se GPS. Foram definidos sete fatores para produzir os mapas de adequabilidade, onde os fatores relevantes para avaliação dos aspectos conservacionistas seguiram uma ordem de prioridade estabelecida pelo método *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, sendo a seguinte ordem: cobertura vegetal, trilha, estruturas, cachoeira, massa de água, declividade e acesso. Após a combinação dos fatores, foi gerado o mapa de adequabilidade com fins de conservação, com superfície de adequabilidade variando de menos apta a mais apta, representando o zoneamento das áreas mais adequadas à conservação. Através da análise do mapa, podem ser definidas estratégias para projetos de conservação do parque, visando dedicar maiores esforços para áreas específicas e com maior vulnerabilidade, direcionando assim o trabalho dos gestores e poupando recursos financeiros. Observou-se que as principais áreas propensas a medidas de

conservação estão próximas à cachoeira e às estruturas do parque, devido à maior pressão antrópica exercida nesses locais. Outras áreas que se destacaram, foram as áreas de pastagem, por estarem em estágio de regeneração.

Palavras-chave: Conservação. Análise multicritério. Vulnerabilidade. *Analytic hierarchy process*.

**APPLICATION OF GEOPROCESSING AND FUZZY LOGIC FOR THE
ESTABLISHMENT OF ZONING IN PARQUE ESTADUAL DA CACHOEIRA DA
FUMAÇA-ES WITH CONSERVATION PURPOSES**

ABSTRACT

The “Cachoeira da Fumaça” state park (PECF) was created in August 24, 1984, having an approximate area of 162.50 hectares, standing in the municipalities of Alegre and Ibitirama / ES. This study aimed to create zoning for the PECF, with the purpose of provide managers with a tool to assist in making decisions regarding the allocation of favorable conservation areas through multi-criteria analysis and geoprocessing. The materials used were: orthophoto of the Espírito Santo, contour lines map obtained from Geobases and GPS for collection of data in the field. Seven factors were defined to produce suitability maps, where relevant factors for assessing conservationists aspects followed an order of priority established by the method of Analytic Hierarchy Process (AHP), with the following order: vegetation cover, track, structures, waterfall, water body, slope and access. After the combination of factors, a suitability map was generated for the purpose of conservation, with surface suitability ranging from less to more apt, representing the zoning area most suitable for conservation. Through the analysis of the map, strategies for conservation of the park can be defined in order to devote greater efforts to specific and more vulnerable areas, thus guiding the work of managers and saving resources. It was observed that the main areas prone to conservation measures are close to the waterfall and the structures of the park due to increased anthropogenic pressure exerted on these sites. Other areas that stood out were grazing areas for being in regeneration stage.

Keywords: Conservation. Multi-criteria analysis. Vulnerability. Analytic hierarchy process.

1 INTRODUÇÃO

O Parque Estadual Cachoeira da Fumaça (PECF) possui área aproximada de 162,50 hectares, situando-se nos municípios de Alegre e Ibitirama, no Sul do Estado do Espírito Santo. Entre os atrativos turísticos do parque, tem-se a Cachoeira da Fumaça, que possui queda de água de 144 metros de altitude. Se insere no bioma da Mata Atlântica, motivo pelo qual foi transformado em Unidade de Conservação (SANCHES, 2012).

De acordo com Sistema Nacional de unidade de Conservação (SNUC), Lei Nº 9.985/2.000, as Unidades de conservação (UC) são definidas como meios aos quais se aplicam garantias adequadas de conservação, restauração e recuperação da biodiversidade. São divididas em dois grupos, as de uso sustentável, onde é permitido o uso direto e indireto dos recursos, e as de proteção integral, onde é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais. No grupo de conservação é que se encaixam os Parques Nacionais (ou Estaduais e Naturais Municipais quando criados pelo Estado ou pelo município, respectivamente), que são áreas de domínio público e possuem o objetivo básico de preservar ecossistemas naturais de relevância ecológica e beleza cênica, e onde pesquisas científicas, atividades de educação ambiental e turismo ecológico são permitidos desde que estejam definidos em zoneamento e estabelecidos no Plano de Manejo da unidade de conservação (BRASIL, 2000).

Ainda segundo o autor acima, o zoneamento é a definição de setores ou zonas, em unidades de conservação, de acordo com o plano de manejo e é fundamental para que os objetivos da unidade sejam alcançados de forma eficaz.

Uma das técnicas que têm sido utilizadas para o zoneamento de áreas é a Análise Multicritério que, segundo Januzzi et al. (2009), é uma técnica qualitativa que permite que a decisão tenha como base vários critérios considerados importantes para o problema em questão, tendo como propósito auxiliar pessoas ou organizações em situações em que é necessário identificar prioridades de acordo com vários aspectos e ao mesmo tempo.

Sendo assim, levando-se em consideração a importância ambiental do PECF, e visando o planejamento e o aprimoramento das técnicas de gestão, o presente trabalho teve como objetivo a criação de um zoneamento, visando oferecer

aos gestores uma ferramenta para tomada de decisões relativas à alocação de áreas propícias à conservação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça (Figura 1II) está compreendido entre as coordenadas E = 227500 m e 229400 m e N = 7717700 m e 7715800 m, e localiza-se na região Sul do Estado Espírito Santo.

O clima da região é caracterizado como Tropical Chuvoso (Aw), com temperatura média anual abaixo de 15° C e precipitação média anual de 1700 mm (KÖPPEN, 1948).

2.1 Material

Foram utilizados ortofotos do ES, compatíveis com a escala 1:15.000 (IEMA, 2007), mapa de curvas de nível na escala de 1:50.000 obtido do Geobases, com equidistância de 20 metros. Os mapas de massa de água e uso do solo foram obtidos através da vetorização em tela sobre a ortofoto. Para o mapa de trilhas, cachoeira, acesso e estruturas do parque foi feita coleta de dados em campo, utilizando GPS diferencial.

Os *softwares* utilizados para a elaboração do trabalho foram o GNSS Solutions, para exportar as trilhas coletadas em campo. O *software* ArcGis 10 para fazer a vetorização da ortofoto, gerar o modelo digital de elevação, e os mapas de fatores e a análise multicritério.

2.2 Métodos

A metodologia adotada no presente trabalho consistiu em levantamento de dados in loco para coleta de dados como trilhas, estruturas do parque, cachoeira e pontos de acesso. Através da vetorização da ortofoto, foi possível a geração dos mapas de massa de água e uso dos solos, e através da interpolação das curvas de nível utilizando a função "topo to raster" no *software* ArcGIS 10, juntamente com dados de hidrografia e pontos cotados, gerou-se o mapa de declividade. Após todos os mapas serem gerados, foi feita a normalização desses mapas para geração dos mapas de fatores, utilizando a lógica *fuzzy*, através da aplicação de funções de pertinência. Todas as informações foram transformadas em *raster*, com resolução

espacial de 50 metros. O mapa final foi gerado através da combinação de todos os fatores, utilizando a análise multicritério.

A análise multicritério vem sendo utilizada por vários autores (CUNHA et al., 2001; CALIJURI et al., 2002; ZAMBON et al., 2005; CAIXETA et al., 2012; FRANCO et al., 2013), nas mais diversas áreas de conhecimento, a fim de avaliar a favorabilidade ou adequabilidade de áreas a empreendimentos. Assim, este trabalho utilizou essa metodologia para geração de mapa de zoneamento, combinando análise multicritério, AHP e lógica *fuzzy*.

Inicialmente foi definido o objetivo de uso da terra para promover melhor adequação de cada área aos meios de utilização. Por se tratar de uma UC de proteção integral é indispensável que o zoneamento busque áreas de maior fragilidade para serem conservadas. Posteriormente, foram definidos fatores para determinar a melhor alocação das áreas de conservação.

Dessa forma sete fatores foram definidos para produzir os mapas de adequabilidade. Os fatores relevantes para avaliação dos aspectos conservacionistas seguiram a prioridade que foi definida a partir do AHP da seguinte forma: cobertura vegetal, trilha, estruturas, cachoeira e massa de água com mesmo grau de relevância, em seguida a declividade e acesso. A definição de cada fator está relacionada ao grau de aptidão de determinadas áreas a conservação, levando em consideração sua real importância e adequabilidade para atingir o objetivo.

2.2.1 Fatores utilizados

De acordo com Benda et al. (2012), a tomada de decisão na análise multicritério é feita baseando-se nas possíveis variáveis de serem medidas e avaliadas. Os critérios utilizados podem ser restrição ou fatores, sendo que um fator é um critério que realça ou atenua a adequabilidade da alternativa específica, e define áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de adequabilidade que varia de 0 a 255, definindo um grau de aptidão para o local. Já as restrições são limitadoras de alternativas.

Os fatores utilizados são definidos a seguir:

- O mapa de uso do solo é fundamental para análise de áreas ideais para o ecoturismo e indica como está a ocupação e o uso do solo no PECF. Através deste mapa, foi possível delimitar áreas de pastagem, estágio avançado e intermediário, e

área de regeneração em estágio inicial de sucessão ecológica, além de macega. Esse mapa foi obtido através de fotointerpretação.

- O mapa de trilhas foi gerado através dos dados coletados em campo com aparelho GPS. Para geração do fator trilhas, considerou-se que quanto mais perto das trilhas, maior a necessidade de conservação, devido ao pisoteamento que os visitantes causam na área, compactando o solo, além de impactos na fauna.

- Os mapas de estruturas do parque indicam as estruturas físicas adequadas para receber visitantes, e é essencial para a UC, pois proporciona segurança e fornece informações para que as atividades desenvolvidas no parque sejam planejadas, causem menor impacto e contribuam para conservação dos recursos naturais. O mapa foi gerado através dos dados coletados com o GPS em campo.

- O mapa referente à cachoeira teve o mesmo procedimento para geração que o mapa de estruturas, ele indica a área do parque onde está localizada a Cachoeira da Fumaça, principal atração do parque.

- O mapa de massa de água tem como principal finalidade identificar os corpos hídricos do parque e é de fundamental importância, pois os recursos hídricos são essenciais para o ecossistema, além de abastecer o parque com água potável. Esse mapa foi gerado através de fotointerpretação.

- O mapa de declividade foi obtido através do vetor de curva de nível, adquiridos junto ao Geobases, na escala de 1:50.000 e com equidistância de 20 metros. E locais com alta declividade não foram considerados ideais para uso, por serem de grande vulnerabilidade ambiental.

- O mapa de acesso ao parque foi gerado através da coleta de dados em campo com GPS. Os pontos de acesso ao parque possuem estrutura adaptada para receber os visitantes. Caso os visitantes prefiram conhecer o parque por outros locais, podem comprometer os recursos naturais disponíveis, assim como gerar sérios impactos. O mais adequado para conservação da UC é a entrada dos turistas por pontos de acesso já estruturados, para que seja evitado o uso descontrolado.

Para análise dos fatores, foram utilizadas as funções de pertinência que, de acordo com Kohagura (2007) são funções utilizadas na lógica *fuzzy*, e podem ser de cinco tipos: triangular, trapezoidal, gaussiana, cauchy, sigmoide e definida pelo usuário. A função sigmoide ou sigmoide é a função mais usada na teoria de conjuntos *fuzzy*. Segundo Calijuri e Loures (2006), a função sigmoide pode ser monotônica crescente, monotônica decrescente e simétrica.

Assim, a função de pertinência sigmóide dos conjuntos *fuzzy* foi utilizada, com seus valores variando de 0 a 255, onde os valores próximos a zero indicam as áreas consideradas menos frágeis e os valores próximos de 255 indicam áreas mais vulneráveis a degradação.

2.2.1.1 Justificativas para normalização dos fatores

Todos os fatores foram normalizados com a finalidade de atribuir às suas classes, valores entre 0 e 255, a fim de permitir a comparação entre eles.

A) Fator Uso do solo

O mapa de uso dos solos indica os principais tipos de vegetação e o estágio de recuperação de cada uma delas, através da normalização do mesmo. Quanto mais degradada é a mata, maior a necessidade de conservação, pois a mesma é mais frágil. Esse mapa foi normalizado através de reclassificação, como pode ser observado na tabela 1III.

Tabela 1III - Normalização das classes de uso do solo

Classes de uso do solo	Valor atribuído
Estádio avançado de sucessão ecológica	165
Estádio intermediário de sucessão ecológica	195
Estádio inicial de sucessão ecológica	225
Macega	200
Pastagem	255

B) Fator Trilhas

O mapa de trilhas indica os principais locais de caminhada dentro do parque, e esse caminamento gera prejuízos como compactação do solo, além de impactos na fauna, indicando assim que quanto mais próximo das trilhas, maior a necessidade de conservação. A normalização desse mapa utilizou a função *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente (Figura 1IIIB). O valor é inicialmente 255 quando se está na trilha, pois são mais vulneráveis aos impactos, e a partir do distanciamento da trilha, o seu valor vai decaindo até chegar a 0.

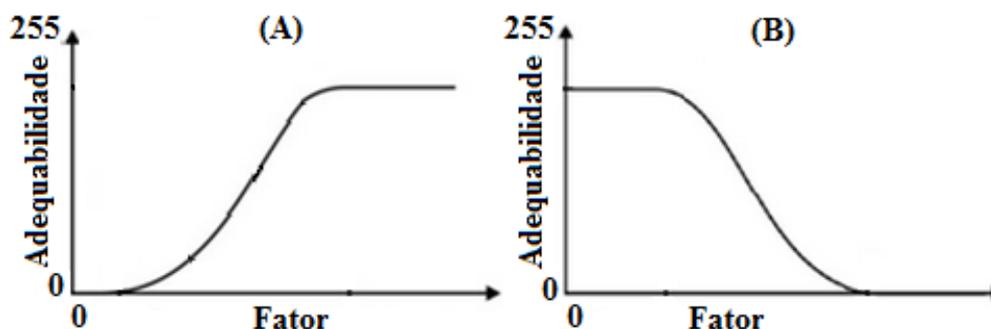


Figura 1III - A) Função de pertinência sigmoidal monotônica crescente para padronização do fator declividade; e B) Função de pertinência sigmoidal monotônica decrescente para padronização dos fatores: trilhas, massa de água, estruturas, cachoeira e acesso.

C) Fator Massa de água

O mapa de massa de água, que apresenta os principais corpos hídricos do parque, tem como principal objetivo a conservação das áreas mais próximas aos corpos hídricos. A normalização desse mapa utilizou a função *fuzzy* sigmoidal monotônica decrescente (Figura 1IIIB), onde quanto mais próximo da massa de água, maior a necessidade de conservação por isso terá o valor mais alto, e a medida que se afasta do corpo hídrico esse valor decai até chegar a 0.

D) Fator Declividade

A finalidade do mapa de fator de declividade foi identificar as áreas mais íngremes, pois estas são as mais vulneráveis a processos intempéricos. A normalização desse mapa utilizou da função *fuzzy* sigmoidal monotônica crescente (Figura 1IIIA), reclassificando todos os valores que possuíam declividade superior a 45° , pois a partir dessa inclinação os processos se agravam, até chegar a 90° que possui a mais intensa necessidade de preservação, assim priorizando a conservação nas áreas mais inclinadas.

E) Fator Estruturas

Os pontos de concentração turística são ambientes que sofrem maior pressão antrópica devido ao grande fluxo de pessoas, entretanto esses locais possuem estruturas planejadas para recepcionar os visitantes. Dessa forma quando o turista está nos locais com infraestrutura a adequabilidade para conservação é máxima, mas à medida que o turista se distancia das mesmas, a adequabilidade

decrece continuamente. Com isso a normalização desse mapa utilizou a função *fuzzy sigmoidal monotônica decrescente* (Figura 1IIIB).

F) Fator Cachoeira

A Cachoeira da Fumaça que é a principal atração do parque e atrai muitos turistas, com isso ela precisa ser o mais conservada possível. Portanto para a normalização do fator cachoeira foi atribuído valor máximo para as áreas mais próximas da cachoeira (255) e este valor decresce à medida que se distancia da cachoeira até chegar à adequabilidade mínima que ocorre no ponto mais distante da cachoeira (Figura 1IIIB).

G) Fator Acesso

Na normalização dos dados do fator acesso utilizou-se a função *fuzzy sigmoidal monotônica decrescente* (Figura 1IIIB). Os pontos de acesso ao PECF são importantes, pois suas entradas são adaptadas para receber os turistas, logo os valores mais altos para conservação são aqueles mais próximos dos pontos de acesso sendo 255, logo possui adequabilidade alta, e à medida que se afasta dos pontos de acesso esse valor decai gradativamente até 0.

2.2.2 Avaliação de pesos para os fatores

A ponderação dos fatores foi executada pelo método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que é uma metodologia oriunda dos processos de auxílio à tomada de decisão, utilizada em apoio à teoria de decisões sobre projetos, a fim de organizá-los em ordem de importância, através de critérios objetivos arbitrados por quem toma a decisão (SAATY, 2013).

Segundo Ramos (2000), não há um único método para a definição de pesos, porém várias propostas de procedimentos podem ser encontradas na literatura (VON WINTERFELTDT e EDWARDS, 1986; MALCZEWSKI, 1999).

A tomada de decisão através do AHP contou com a consulta aos autores, para geração da matriz de comparação, dando ordem de importância aos mesmos (Tabela 1III).

O produto resultante dessa análise matricial foi um mapa indicativo de áreas prioritárias para conservação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados após a geração dos mapas de fatores (Figura 2III) mostram como cada fator interfere no resultado do mapa final. Por exemplo, diversos mapas de fatores possuem uma alta adequabilidade para as áreas próximas à cachoeira, com isso, espera-se que no mapa final dessa área possua uma alta adequabilidade.

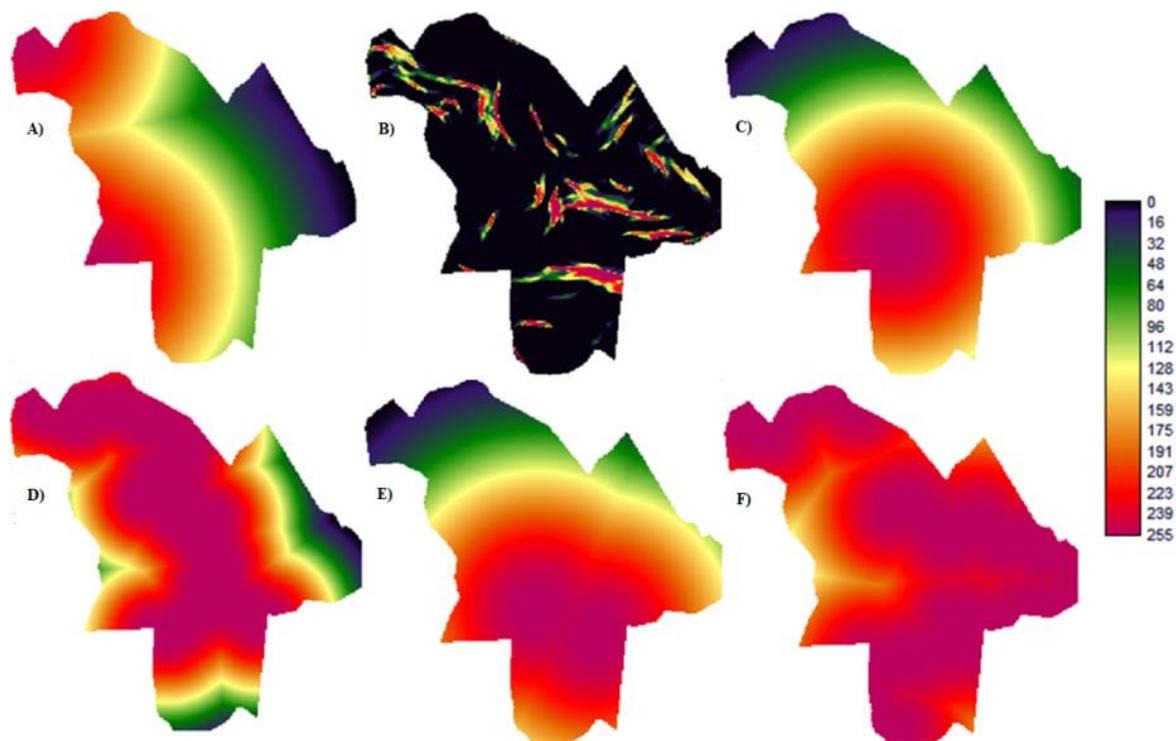


Figura 2III - A) Mapa do fator acesso; B) Mapa do fator declividade; C) Mapa do fator cachoeira; D) Mapa do fator massa de água; E) Mapa do fator estruturas do parque; e F) Mapa do fator trilhas.

O mapa do fator acesso possui uma baixa adequabilidade na porção leste, visto que são as localidades mais distantes dos pontos de acesso ao parque.

O mapa do fator declividade possui poucas áreas com adequabilidade alta, pois o parque não possui muitas áreas íngremes.

O mapa do fator cachoeira possui a sua maior adequabilidade na porção central, uma vez que é onde a cachoeira se localiza e com isso há uma maior quantidade de visitantes nessa região, fazendo com que haja um maior desgaste do parque nessa localidade.

No mapa do fator massa de água, pode-se observar que as principais áreas com elevada adequabilidade são as próximas aos corpos hídricos, que são as áreas de maior visitação.

Para o mapa de fator estruturas, as mais altas adequabilidades estão na parte central, onde estão localizadas as estruturas de recepção aos visitantes.

O mapa do fator trilhas mostra áreas muito vulneráveis, assim, observa-se que a maior parte do parque possui alta adequabilidade quando se trata das trilhas.

A matriz de comparação apresentada na tabela 2III mostra a comparação par a par entre os fatores, correlacionando-os de acordo com seu peso em relação ao fator seguinte, que indica a importância relativa à adequabilidade dos *pixels* para a atividade que está sendo avaliada. Depois de todas as combinações possíveis entre os fatores, são calculados os autovalores da matriz de comparação, gerando os pesos mostrados na tabela 3III.

Tabela 2III - Matriz de comparação dos critérios escalonados

Fator*	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	1						
F2	1,2	1					
F3	1,5	1,2	1				
F4	1,5	1,5	1,2	1			
F5	1,9	1,5	1,5	1,2	1		
F6	2	1,9	1,5	1,5	1,2	1	
F7	3	2	1,9	1,5	1,5	1,2	1

*F1 = Fator acesso; F2 = Fator declividade; F3 = Fator massa de água; F4 = Fator cachoeira; F5 = Fator estruturas; F6 = Fator trilhas; e F7 = Fator uso do solo.

Tabela 3III - Resultado final dos pesos calculados para os fatores

Fator	Peso
Uso do Solo	0,2218
Trilhas	0,1845
Massa de água	0,1169
Declividade	0,0999
Estruturas	0,1577
Cachoeira	0,1359
Acesso	0,0833

Proporção de Consistência = 0,0000 (aceitável)

O fator uso dos solos foi considerado mais importante, visto que é ele quem indica o tipo de vegetação presente em cada local. Assim, áreas em estágio inicial de regeneração ou de campo aberto estão mais vulneráveis a impactos ambientais.

Seguindo a ordem de importância, foram considerados os fatores trilhas e estruturas, já que são as áreas que sofrem maior pressão antrópica devido à visitação. A seguir, o fator cachoeiras e massa de água pelo fato de apresentarem grande susceptibilidade ambiental. O fator de declividade influencia pouco no caso da UC de proteção integral, visto que é proibido o uso do solo nesses ambientes e a área está bem preservada. Já o fator acesso influenciou menos, devido ao fato de que a área para acesso ao parque é bem estruturada.

Quando se analisa os fatores, percebe-se a influência do fator solos e do fator trilhas na análise, pois ambos apresentam uma importância maior, o que é caracterizado por seus pesos.

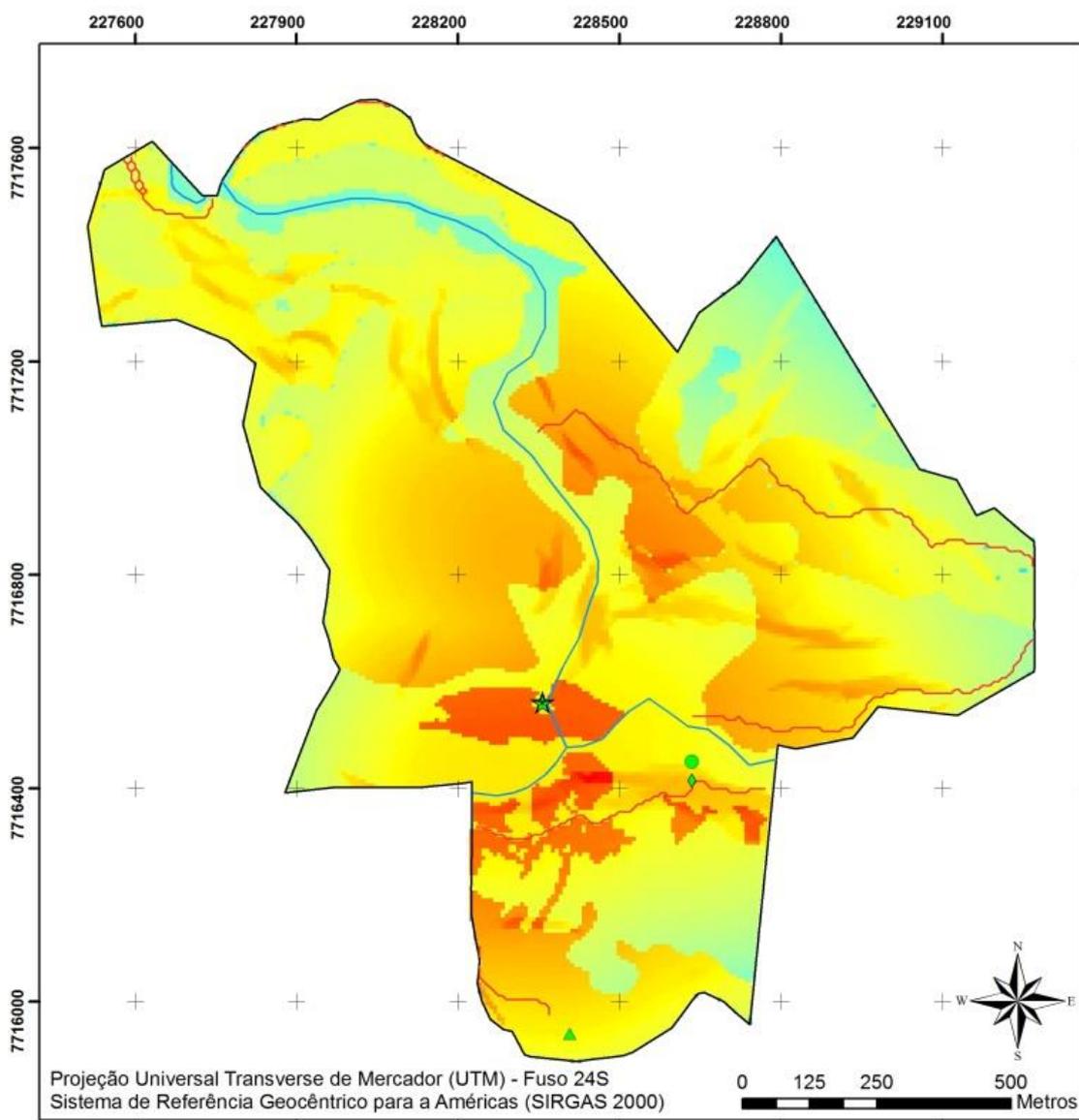
Após a combinação dos fatores, foi gerado o mapa final utilizando a análise multicritério, através da agregação dos fatores (Figura 3III), com superfície de adequabilidade variando de 0 (menos apto) a 241 (mais apto), representando o zoneamento das áreas mais adequadas à conservação.

A partir da análise do mapa da Figura 3III, é possível direcionar o planejamento de operações de controle ambiental e orientar os gestores a atentar para áreas consideradas de risco. Dessa forma, observa-se que as principais áreas propensas a medidas de conservação estão próximas à cachoeira e às estruturas do parque, devido à maior pressão antrópica exercida nesses locais, visto que são as áreas mais utilizadas do parque.

As áreas de pastagem, também apontaram maior necessidade de conservação, isso porque a pastagem está em estágio inicial de regeneração e apresenta maior vulnerabilidade, quando comparada às áreas de mata que se encontra em estágio clímax.

Com esse mapa, podem ser definidas estratégias para projetos de conservação do parque, visando dedicar maiores esforços para áreas específicas e com maior vulnerabilidade, direcionando assim o trabalho dos gestores e poupando recursos financeiros.

Análise multicritério com fins de conservação para o
Parque Estadual Cachoeira da Fumaça - Espírito Santo



Legenda

Estruturas

- ▲ Mirante
- ◆ Entrada Principal
- ★ Cachoeira
- Banheiros
- Drenagem
- Trilhas

Fator de adequabilidade

Valor

- Maior adequabilidade : 241
- Menor adequabilidade : 0

Figura 3III - Mapa da análise multicritério com fins de conservação, indicando as áreas mais aptas a projetos de conservação.

É essencial para o zoneamento definir quanto é baixa e alta adequabilidade, com intuito de valorar a vulnerabilidade das áreas. Após comparação dos dados locais com o mapa gerado (Figura 3III) e a ortofoto (Figura 1II), definiu-se que áreas com adequabilidade acima de 180 apresentam riscos, devido à maior vulnerabilidade e que o uso dos solos nessas áreas necessita de maior planejamento, assim aproximadamente 40 ha da área necessitam de medidas que promovam a conservação.

A utilização de análise multicritério para auxiliar nas tomadas de decisões, dentro de uma UC, também foi proposta por Cuzzuol e Lima (2003), que usaram fatores de sensibilidade do solo à dissecação, sensibilidade de Escarpas, Falhas, Foliações e Recursos Hídricos e o uso das terras, para a definição do grau de sensibilidade da Área de Proteção Ambiental (APA) Goiapaba-Açú, em Fundão-ES, com o objetivo de analisar os fenômenos naturais que funcionam como reguladores do equilíbrio morfo/pedogênico nas paisagens da região e a avaliação dos impactos antrópicos.

Outros autores tem utilizado a análise multicritério, combinada com métodos de comparação, para encontrar áreas adequadas a diversos fins, como: Calijuri et al. (2002) que estudaram áreas para implantação de aterro sanitário; Zambon et al. (2005) que utilizaram a análise multicritério para localização de usinas termoelétricas; Caixeta et al. (2012) que mapearam as áreas susceptíveis a movimentos de massa; e Franco et al. (2013) que estudaram as áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente.

4 CONCLUSÃO

A aplicação da análise multicritério aliada à boa base de dados se mostrou bastante eficaz para promover o zoneamento no PECF. O método apresentou resultados satisfatórios na geração de mapas temáticos e facilitou a ponderação dos fatores considerados importantes para o zoneamento, indicando as áreas com maior vulnerabilidade à degradação.

A interação e a influência de cada fator no zoneamento são dependentes do objetivo proposto pelos gestores da unidade e contribuem para a produção do plano de manejo.

Devido à facilidade de acesso no interior de parque e o grande fluxo de visitantes, há uma maior pressão antrópica nas áreas com estruturas, necessitando

assim, de projetos mais intensos de conservação, como observado no mapa da Figura 3III.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo financiamento do trabalho e pelas bolsas concedidas, aos gestores do Parque Estadual Cachoeira da Fumaça (PECF), pela contribuição para o desenvolvimento deste trabalho e a Universidade Federal do Espírito Santo, por disponibilizar a sua infraestrutura para o processamento dos dados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENDA, F.; ALVES, M. da G.; OLIVEIRA, C. H. R. de. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos de Goytacazes/RJ utilizando sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia** (online), v. 64, n. 1, p. 33-44, 2012.

BRASIL. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII, da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da República do Brasil**. 19 de julho de 2000. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 01 jan. 2014.

CAIXETA, P. R. C; PIMENTA, D. F. N.; AMARAL, R. V. do; SCHAEFER, C. E. Análise multi-critério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massas na área urbana de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 9, 2012, Recife. **Anais...Recife-PE**: 2012. p. 1-9.

CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Revista de Informática Pública**, Belo Horizonte-MG: v. 4, n. 2, p. 23-250, 2002.

CALIJURI, M. L.; LOURES, S. S. P. **Análise Estratégica de Decisão**. Viçosa: Editora UFV. 2006. 56 p.

CUNHA, E. R. S. P. da; OLIVEIRA, M. V. de; SILVA, F. R. M. da. Utilização da técnica de processo analítico hierárquico (AHP) na avaliação da "favorabilidade" para a prospecção mineral de cromo na região de Pinheiros Altos, município de Piranga, MG, Brasil. **Rem - Revista Escola de Minas** (online), v .54, n. 2, p. 127-132. 2001.

CUZZUOL, M. G. T.; LIMA, R. N. **Análise da Sensibilidade Física da Área de Proteção Ambiental do Goiapaba-Açú (Fundão-ES): subsídios ao zoneamento ambiental.** Santa Teresa: Natureza online, p. 28-36, 2003.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...**Foz do Iguaçu-PR: 2013. 3366-3373.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Ortofoto Mosaico cedido pelo IEMA. Vitória (ES), 2007. 06 Ortofotos.

JANUZZI, P. de M.; MIRANDA, W. L. de.; SILVA, D. S. G. da. Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. **Revista Informática Pública**, v. 1, p. 69-87, 2009.

KOHAGURA, Tiago. **Lógica Fuzzy e suas aplicações.** 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação), Universidade Federal de Londrina, Londrina. 61 p.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra. México: **Fondo de Cultura Economica**, 1948, 478p.

MALCZEWSKI, J. (1999). **GIS and Multicriteria Decision Analysis.** John Wiley & Sons, New York. 392 p.

RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal.** 2000. Tese de doutorado, Universidade do Minho, Braga – Portugal. 299p.

SAATY, T. L.; VARGAS. L. G. **Decision Making with the Analytic Network Process**: An Innovative Orders-of-Magnitude Approach to AHP-Based Multicriteria Decision Making: Prioritizing Divergent Intangible Humane Acts. International Series in Operations Research & Management Science. Nova York, 195, 319-343, 2013.

SANCHES, J. Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça. **Revista ES Brasil**, Vitória: Next Editorial n. 82, mai. 2012. 2 p.

VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. (1986). **Decision Analysis and Behavioural Research**. Cambridge University Press, Cambridge, UK

ZAMBON, K. L. CARNEIRO, A. A. de F. M.; SILVA, A. N. R. da. NEGRI, J. C. **Pesquisa Operacional**, São José dos Campos-SP, v. 25, n. 2, p.183-199, 2005.

4 CONCLUSÕES GERAIS

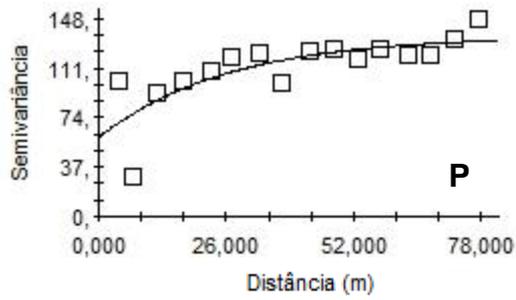
A partir das zonas de manejo geradas para a cultura do mamoeiro, pode-se explicar a variabilidade espacial dos atributos na área de estudo e mostrar similaridades entre as zonas de manejo geradas, podendo-se observar uma influência nos dados, permitindo propor uma amostragem mais direcionada, reduzindo o número de amostras.

Com o zoneamento do Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, é possível sugerir áreas aptas ao ecoturismo e a preservação, e propor orientação aos gestores para restringir o uso em ambientes não adequados e incluir novas atividades de recreação.

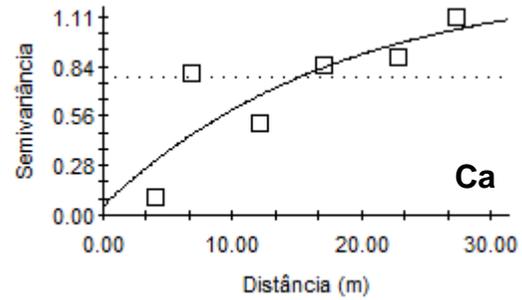
A aplicação da lógica *fuzzy* aliada a uma base de dados e a técnicas de sistemas de informação geográfica é uma ferramenta útil na geração de zonas de manejo, podendo auxiliar na tomada de decisões.

APÊNDICES

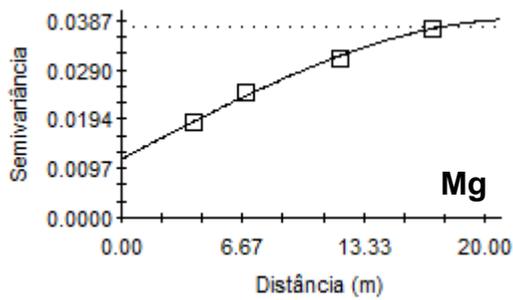
APÊNDICE A



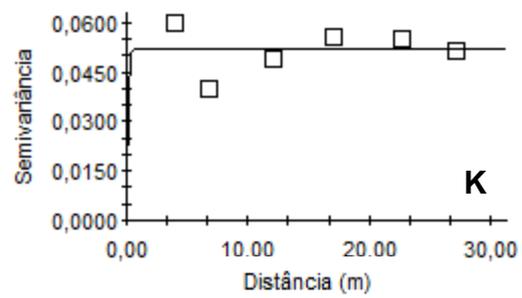
Modelo exponencial ($C_0 = 59,40$; $C_0+C = 135,50$;
 $a = 78,30$; $RSS = 4229$)



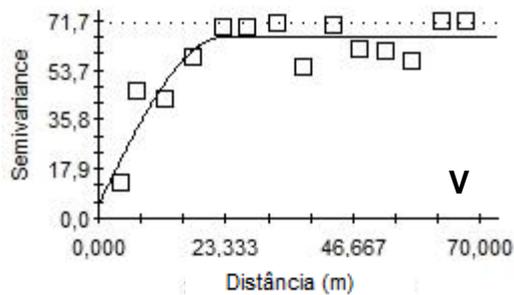
Modelo exponencial ($C_0 = 0,05$; $C_0+C = 1,33$;
 $a = 54,21$; $RSS = 0,192$)



Modelo esférico ($C_0 = 0,01$; $C_0+C = 0,04$;
 $a = 22,04$; $RSS = 6,40E-07$)



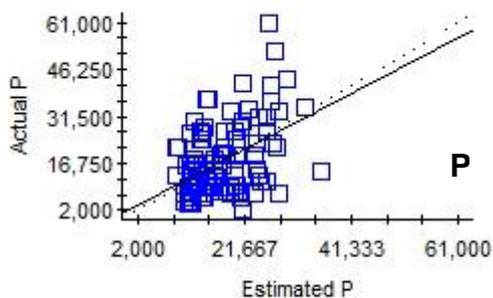
Modelo exponencial ($C_0 = 0,006$; $C_0+C = 0,05$;
 $a = 0,10$; $RSS = 2,37E-04$)



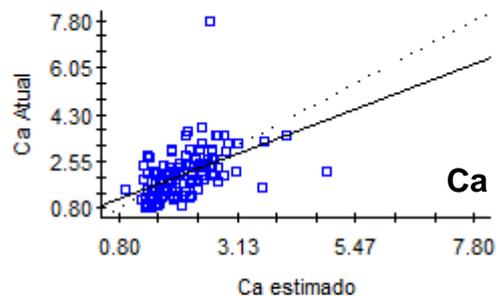
Spherical model ($C_0 = 4,90$; $C_0+C = 65,66$;
 $a = 22,70$; $RSS = 694$)

Apêndice A - Semivariogramas ajustados aos atributos em estudo.

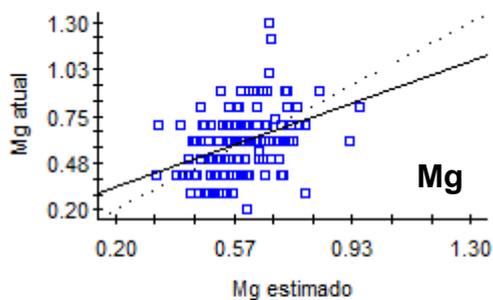
APÊNDICE B



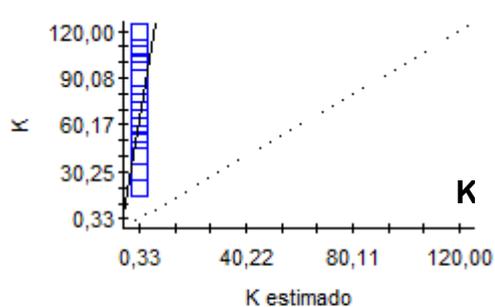
Regression coefficient = 0,887 (SE = 0,173 , $r^2 = 0,208$,
y intercept = 2,050, SE Prediction = 10,109)



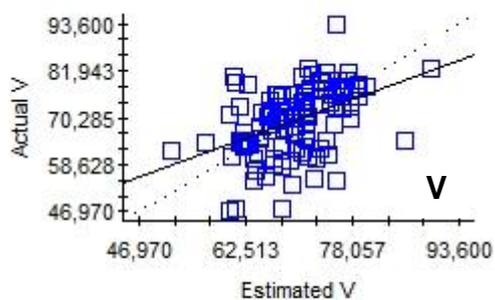
Regression coefficient = 0,717 (SE = 0,113 , $r^2 = 0,242$,
y intercept = 0,59, SE



Regression coefficient = 0,672 (SE = 0,145 , $r^2 = 0,145$,
y intercept = 0,20, SE



Regression coefficient = 10,529 (SE = 39,612 , $r^2 = 0,001$,
y intercept = 61,30,



Regression coefficient = 0,624 (SE = 0,120 , $r^2 = 0,201$,
y intercept = 26,151, SE Prediction = 7,539)

Apêndice B - Validação cruzada.