

MAOLA MONIQUE FARIA

**CANDEIAS (*EREMANTHUS SP.*): ESPACIALIZAÇÃO E INTERAÇÕES
AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE MARIANA (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012



Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

F224c
2012

Faria, Maola Monique, 1985-
Candeias (*Eremanthus* SP.) : espacialização e interações
ambientais no município de Mariana (MG) / Maola Monique
Faria. – Viçosa, MG, 2012.
x, 38f. : il. ; (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Eremanthus*. 2. Sensoriamento remoto. 3. Mapeamento
florestal. 4. Térmita. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22. ed. 634.97399

MAOLA MONIQUE FARIA

**CANDEIAS (*EREMANTHUS SP.*): ESPACIALIZAÇÃO E INTERAÇÕES
AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE MARIANA (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2012.



Vicente Paulo Soares



Pedro Christo Brandão



Liovando Marciano da Costa



Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Orientador)

"Mas, senhores, os que madrugam no ler, convém madrugarem também no pensar. Vulgar é o ler, raro o refletir. O saber não está na ciência alheia, que se absorve, mas, principalmente, nas idéias próprias, que se geram dos conhecimentos absorvidos, mediante a transmutação, por que passam, no espírito que os assimila. Um sabedor não é armário de sabedoria armazenada, mas transformador reflexivo de aquisições digeridas"...

(Rui Barbosa, "Oração aos Moços")

Àqueles que sempre acreditaram nos meus sonhos e me apoiaram: meus pais (José Ivo e Roseni).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me ajudado a compreender que os momentos hoje vividos são sementes de um amanhã melhor e próspero.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos por me permitirem estender a minha vivencia como estudante e pela minha formação profissional.

Aos meus pais, Roseni e José Ivo pelo apoio incondicional e por acreditarem em meus sonhos e me incentivarem a não desistir deles. Á minha irmã, Raiza, pela compreensão e pelo apoio dado nos momentos de crise.

Ao meu orientador Elpidio pela amizade, pelos conselhos e ensinamentos transmitidos e pela vivencia e boas risadas no LABGEO, nos almoços e jantares.

Ao professor Carlos Ernesto pela coorientação e por ter dividido comigo parte de seus conhecimentos durante a confecção dessa dissertação.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal: Vicente Paulo Soares e Agostinho Lopes de Souza pelas contribuições dadas ao longo do processo de construção dessa dissertação.

Aos membros da banca examinadora, Liovando Marciano da Costa, Pedro Christo Brandão e Vicente Paulo Soares, pela disponibilidade, compreensão e contribuições.

Aos amigos, Anderson, Bárbara, Bruno, Michelle, Sabrina Simon, Mariana, Mariana, Ricardo, Lucas, Andréia, Simone, Carol, Eliana, Cibele, Camila, Alyne e André pelo apoio e por terem me aguentado mesmo nos momentos onde o stress fazia com que eu os “maltratasse”. O apoio, carinho e conselhos de vocês foram fundamentais para que eu realizasse essa dissertação. Aos amigos e companheiros de LABGEO: Alice, Giovanni, Eliana Elizabeth, Eliana Souza, Victor Hugo, Bruno Mendonça, Felipe Simas o meu muito obrigado.

À equipe de campo, Felipe, Israel e Renato, por terem me ajudado nas coletas e por tornar os dias no campo mais agradáveis.

Às secretarias da pós-graduação, Luciana e Cláudia, pela amizade e pelo apoio na resolução das burocracias ligadas a essa pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Solos. E a todos os professores desse departamento pelos ensinamentos e pelo compartilhamento de experiências.

BIOGRAFIA

MAOLA MONIQUE FARIA, filha de José Ivo Faria e Roseni Aparecida de Souza Faria, nasceu em Guiricema - MG, em 01 de setembro de 1985.

Graduou-se em Geografia em janeiro de 2010, pela Universidade Federal de Viçosa. Nesse mesmo ano, deu início ao curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Defendeu a dissertação de mestrado em Julho de 2012, quando iniciou o doutorado no mesmo Departamento.

Índice

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	2
AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS SVM E MAXVER PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS FLORESTAIS MONODOMINANTES DE CANDEIA (<i>EREMANTHUS SP.</i>)	3
1. INTRODUÇÃO	4
2. MATERIAIS E MÉTODOS	7
2.1. Caracterização da área de estudo	7
2.2. Base de dados	8
2.3. Seleção e validação das amostras de treinamento	9
2.4. Classificação supervisionada.....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4. CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
INVENTÁRIO FLORESTAL E FITOSSOCIOLOGIA EM ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL DE CANDEIA (<i>EREMANTHUS SP.</i>) EM AMBIENTE ALTIMONTANO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	26
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAIS E MÉTODOS	28
2.1. Caracterização da área de estudo	28
2.2. Coleta e análise de dados	29
2.3. Amostragem de solos	31
2.4. Análises estatísticas.....	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1. Estrutura horizontal e paramétrica	32
3.2. Aplicação de técnicas multivariadas para o agrupamento das parcelas	34
4. CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CICLAGEM DE NUTRIENTES POR TÉRMITAS EM SISTEMAS FLORESTAIS MONODOMINANTES DE CANDEIA (<i>EREMANTHUS SP.</i>) SOBRE DIFERENTES SUBSTRATOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	40
1. INTRODUÇÃO	41

2. MATERIAIS E MÉTODOS	42
2.1. Caracterização da área de estudo	42
2.1.1. Aspectos geológicos e pedológicos.....	43
2.2. Amostragem de solos superficiais e de montículo	44
2.3. Análises estatísticas.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4. CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CONCLUSÃO GERAL	58

RESUMO

FARIA. Maola Monique, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **CANDEIAS (*EREMANTHUS SP.*): ESPACIALIZAÇÃO E INTERAÇÕES AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE MARIANA (MG)**. Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Coorientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

Os remanescentes florestais de Minas Gerais abrigam grande riqueza e diversidade de espécies vegetais nativas, dentre essas as espécies do gênero *Eremanthus* sp., conhecidas popularmente como candeia, se destacam. Esta se desenvolve sobre solos pouco férteis e rasos originando povoamentos puros, denominados de monodominantes. Sua ocorrência também é registrada dentro de florestas após alguma perturbação com consequente formação de clareiras, visto que essa é heliófila. A candeia apresenta alto potencial econômico. Sua madeira apresenta alta durabilidade e resistência podendo ser empregada como moirões e também na construção civil. Além disso, possui uma substância conhecida como α -bisabol, óleo essencial, que possui propriedades antiflogísticas, antibacterianas, antimicóticas e dermatológicas. O estudo dos remanescentes monodominados pela candeia se faz necessário, visto que sua exploração e a comercialização de seus produtos têm sido realizadas sem a implantação de um plano de manejo eficiente que prime pela conservação da espécie. O presente trabalho tem por objetivos: classificar o uso da terra na região norte do município de Mariana (MG) com enfoque para as áreas cobertas por candeia (*Eremanthus* sp.); avaliar a influência dos fatores ambientais sobre a distribuição das áreas de ocorrência natural de candeia na região norte do município de Mariana (MG); analisar a ciclagem de nutrientes em montículos sobre diferentes substratos do Quadrilátero Ferrífero, em sistemas florestais monodominantes de candeia. Utilizou-se quatro imagens Rapideye da região norte do município de Mariana (MG), com as devidas correções radiométricas e geométricas. A base cartográfica é composta pelos arquivos vetoriais de rodovias e hidrografia extraídos de cartas planialtimétricas do IBGE. Foram testados dois algoritmos de classificação de imagens, sendo eles: MaxVer e SVM, empregando a interface dos softwares ArcGis 10 e Envi 4.8. Foram testadas 51 combinações de bandas, envolvendo composições de bandas multiespectrais da imagem Rapideye, duas e três componentes principais da imagem (PCA2 e PCA3) e o NDVI, a fim de avaliar qual a melhor combinação para diferenciar as áreas sob monodominância de candeia das demais classes de uso do solo. Para a realização do inventário florestal de áreas sob monodominância de candeia, amostrou-se 6800 m² de candeiais, totalizando dezessete

parcelas, onde foram medidas as circunferências a 1,30m do solo de todos os fustes com $CAP \geq 15,7$ cm. A altura total de cada fuste foi estimada com o auxílio de uma vara calibrada. A estrutura paramétrica da vegetação foi analisada em termos da estimativa das variáveis: número de árvores por hectare e área basal. As informações do inventário das parcelas do referente ao número de indivíduos, área basal e valor de cobertura, características químicas e físicas do solo, foram reunidas em uma única matriz de análise, sendo os dados submetidos a técnicas de estatística multivariada. Em cada uma das dezessete áreas de ocorrência natural de candeia, se coletou uma amostra composta de solo superficial e três amostras da parede externa de montículos de cupins em cada uma das áreas, que foram submetidos a análises físicas e químicas de rotina. Os atributos físicos e químicos dos solos das parcelas e dos montículos de cada um dos fragmentos foram comparados entre si aplicando o teste estatístico t. Para cada montículo amostrado foi calculado o incremento relativo (IC) dos atributos físicos e químicos avaliados em relação ao solo adjacente. Foi ajustada equação de regressão entre os valores observados no solo vs IC, para os atributos químicos e físicos do solo. Foram realizados testes de correlação de Spearman entre as seguintes propriedades físicas e químicas: pH, P, MO, t e porcentagem de argila para os solos dos fragmentos de candeia e o solo das paredes externas dos cupins. Os valores de Kappa e Kappa condicional obtidos a partir de diferentes classificadores e diferente combinações de bandas foram comparados entre si aplicando o teste estatístico z ($\alpha = 95\%$). As classificações obtidas a partir do algoritmo Maxver são superiores aos obtidos a partir do SVM. As informações extraídas do mapa temático permitem indicar que 29,76% da área de estudo, cerca de 25.320,85 ha, se encontra coberta por candeia em monodominância. Nas parcelas inventariadas há baixa diversidade. Nos fragmentos florestais estudados, a candeia apresentou alta dominância, frequência e densidade de indivíduos. O estudo demonstrou que os candeiais estão instalados nos solos com oligotrofismo marcante, onde a soma de base e a saturação de bases são notadamente baixas. As variáveis, soma de bases, saturação por bases e número de indivíduos, permitiram agrupar os fragmentos avaliados em três grupos. Os valores de incremento relativo mostram que em solos com teores de argila menores que 15%, a capacidade de seleção de partículas finas pelos térmitas é maior. As paredes externas dos cupinzeiros se diferenciam do ambiente de seu entorno pelo maior acúmulo de matéria orgânica e nutrientes, sendo este acúmulo mais evidente para Ca e Mg. A matéria orgânica é a principal responsável pelo incremento relativo de nutrientes nos montículos.

ABSTRACT

FARIA. Maola Monique, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, July of 2012. **CANDEIAS (*EREMANTHUS* SP): SPATIALIZATION AND ENVIRONMENTAL INTERACTIONS IN THE MUNICIPALITY OF MARIANA (MG)**. Advisor: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-advisor: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

The remaining forests of Minas Gerais harbor great wealth and diversity of native plant species, among these the genus *Eremanthus* sp., Popularly known as candeia stand out. This grows on shallow soils are not very fertile and yielding pure stands, called monodominant. Its occurrence is also recorded within forests after some disturbance with consequent gap formation, since this is heliophile. The candeia has a high economic potential. Its wood has high durability and can be used as fence posts and also in construction. It also has a substance known as α -bisabolol, essential oil, which has properties antiflogísticas, antibacterial, antifungal and dermatology. The study of the remaining monodominados candeia is needed, since its exploitation and commercialization of its products have been accomplished without the implementation of a management plan that efficiently prime for conservation of the species. This study aims to: classify land use in the northern municipality of Mariana (MG) with a focus on the areas covered by candeia (*Eremanthus* sp.); Evaluate the influence of environmental factors on the distribution of areas of natural occurrence of candeia in the northern municipality of Mariana (MG); analyze nutrient cycling in mounds on different substrates Quadrilatero Ferrifero in forest systems monodominant of a candeia. We used four images RapidEye's northern municipality of Mariana (MG), with radiometric and geometric corrections. The basemap contains the vector files extracted from highways and hydrography of letters planialtimétricas IBGE. We tested two algorithms for image classification, as follows: MaxVer and SVM employing the software interface of ArcGIS 10 and Envi 4.8. We tested 51 combinations of bands, involving compositions of image RapidEye multispectral bands, two and three principal components of the image (PCAc12 and PCAc123) and NDVI to assess what the best combination for differentiating areas under monodominance candeia of the other classes land use. For the inventory of forest areas under monodominance of a candeia sampled up to 6800 m² candeiais totaling seventeen parcels where the circumferences were measured at 1.30 m above the ground with all CAP stems > 15.7 cm. The total height of each stem was

estimated with the aid of a calibrated rod. The parametric structure of the vegetation was analyzed in terms of the forecast variables: number of trees per hectare and basal area. The information in the inventory of the plots for the number of individuals and basal area coverage value, chemical and physical characteristics of the soil, were gathered into a single array analysis, and the data subjected to multivariate statistical techniques. In each of the seventeen areas of natural occurrence of a candeia, a composite sample was collected from surface soil samples and three of the outer wall of termite mounds in each of the areas, which were subjected to physical and chemical analysis routine. The physical and chemical properties of soils of the plots and mounds of each of the fragments were compared by applying the statistical test t. For each mound sampled was calculated relative increment (IC) of the physical and chemical attributes evaluated in relation to the surrounding soil. Regression equation was adjusted between the values observed in soil vs IC for the chemical and physical soil. Tests were performed Spearman correlation between the following physical and chemical properties: pH, P, OM, t e percentage clay soils to the fragments of a candeia and the ground of the external walls of the termites. And the values of Kappa conditional Kappa obtained from different classifiers and different combinations of bands were compared by applying the test statistic z ($\alpha = 95\%$). The ratings obtained from the Maxver algorithm are higher than those obtained from SVM. The information extracted from the thematic map possibly indicate that 29.76% of the study area, approximately 25,320.85 hectares, is covered by a candeia in monodominance. In plots inventoried's low diversity. In forest fragments studied, the lamp has high dominance, frequency and density. The study showed that candeiais are installed in soils with low nutrient content marked where the sum of base and base saturation are markedly lower. The variables, sum of bases, base saturation and number of individuals allowed to group the fragments evaluated in three groups. The figures show that the relative increase in clay soil with less than 15%, the capability of selecting the final particles is greater by termites. The outer walls of the nests differ environment of its surroundings by higher accumulation of organic matter and nutrients, and this accumulation more evident for Ca and Mg. Organic matter is primarily responsible for the relative increase of nutrients in mounds.

INTRODUÇÃO GERAL

Os remanescentes florestais de Minas Gerais abrigam grande riqueza e diversidade de espécies vegetais nativas, dentre essas as espécies do gênero *Eremanthus* sp., conhecidas popularmente como candeia (CETEC, 1996). Esta se desenvolve sobre solos pouco férteis e rasos originando povoamentos quase puros, denominados de monodominantes (Scolforo, et al, 2002). Esta se desenvolve sobre solos onde seria difícil a implantação de cultivos agrícolas ou até mesmo de outra espécie florestal. Sua ocorrência também é registrada dentro de florestas após alguma perturbação, com consequente formação de clareiras, visto que essa é heliófila (Scolforo, et al, 2002).

A candeia apresenta alto potencial econômico. Sua madeira apresenta alta durabilidade e resistência podendo ser empregada como moirões e também na construção civil. Além disso, possui uma substância conhecida como α -bisabolol, óleo essencial, que possui propriedades antiflogísticas, antibacterianas, antimicóticas e dermatológicas (Pedralli, 1997).

O estudo dos remanescentes monodominados pela candeia se faz necessário, visto que sua exploração e a comercialização de seus produtos têm sido realizadas sem a implantação de um plano de manejo eficiente que prime pela conservação da espécie (Scolforo, et al., 2002; Souza, et al., 2007).

Visando contribuir para o entendimento da dinâmica da monodominância de candeia na região norte do município de Mariana (MG), o presente estudo possui os seguintes objetivos, que serão abordados na forma de três artigos:

- 1º ARTIGO: “Avaliação dos algoritmos *SVM* e *Maxver* para a classificação de sistemas florestais monodominantes de candeia (*Eremanthus* sp.)”. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo principal classificar o uso e cobertura da terra na região norte do município de Mariana (MG) com enfoque para as áreas cobertas por candeia (*Eremanthus* sp.). Seus objetivos específicos são: avaliar o desempenho de diferentes classificadores de imagem; avaliar a contribuição de diferentes composições de bandas multiespectrais, das componentes principais e do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para a separação das demais feições florestais das áreas cobertas por candeia na paisagem.
- 2º ARTIGO: “Inventário florestal e fitossociologia em áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus* sp.) Em ambiente

altimontano do Quadrilátero Ferrífero”. Este artigo tem por objetivo avaliar a influência do solo com seus atributos físicos e químicos sobre a distribuição das áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus* sp.) na região norte do município de Mariana (MG). É também objetivo do presente trabalho caracterizar a estrutura horizontal e a estrutura paramétrica de povoamentos florestais sob monodominância de candeia na região norte do município de Mariana (MG).

- 3º ARTIGO: “Ciclagem de nutrientes por térmitas em sistemas florestais monodominantes de candeia (*Eremanthus* sp.) sobre diferentes substratos do Quadrilátero Ferrífero”. Este artigo tem como objetivo analisar a ciclagem de nutrientes em termiteiros de solos sobre diferentes substratos do Quadrilátero Ferrífero, em sistemas florestais monodominantes de candeia (*Eremanthus* sp.). Os objetivos específicos são determinar as propriedades químicas e físicas do solo e das paredes externas dos cupinzeiros existentes na área monodominada por candeia e correlacionar as características químicas e físicas dos solos dos fragmentos e das paredes externas dos cupinzeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC.

Ecofisiologia da Candeia. Belo Horizonte: SAT/CETEC, 1996 (Relatório Técnico).

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip.) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto. MG. Revista Árvore, v.21, n.2, p.301-306, 1997.

SCOLFORO, J.R.; et al. Manejo sustentado das candeias: *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, 2002.

SOUZA, A. L. de; et al. Caracterização fitossociológica em áreas de ocorrência Natural de candeia (*Eremanthus Erythropappus* (D.C.) Macleish). R. Árvore, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.667-677, 2007.

AVALIAÇÃO DOS ALGORITMOS SVM E MAXVER PARA A CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS FLORESTAIS MONODOMINANTES DE CANDEIA (*EREMANTHUS SP.*)

RESUMO - O presente trabalho tem por objetivo classificar o uso e cobertura da terra na região norte do município de Mariana (MG) com enfoque para as áreas cobertas por candeia (*Eremanthus sp.*). Utilizou-se quatro imagens Rapideye da região norte do município de Mariana (MG), com as devidas correções radiométricas e geométricas. A base cartográfica é composta pelos arquivos vetoriais de rodovias e hidrografia extraídos de cartas planialtimétricas do IBGE. Foram testados dois algoritmos de classificação de imagens, sendo eles: MaxVer e SVM, empregando a interface dos softwares ArcGis 10 e Envi 4.8. Foram testadas 51 combinações de bandas, envolvendo composições de bandas multiespectrais da imagem Rapideye, duas e três componentes principais da imagem (PCAc12 e PCAc123) e o NDVI, a fim de avaliar qual a melhor combinação para diferenciar as áreas sob monodominância de candeia das demais classes de uso e cobertura da terra. Os valores de Kappa e Kappa condicional obtidos a partir de diferentes classificadores e diferente combinações de bandas foram comparados entre si aplicando o teste estatístico z ($\alpha = 95\%$). As classificações obtidas a partir do algoritmo Maxver são superiores aos obtidos a partir do SVM. As informações extraídas do mapa temático permitem indicar que 29,76% da área de estudo, cerca de 25.320,85 ha, se encontra coberta por candeia em monodominância.

Palavras-chave: candeia, *Eremanthus sp.*, SVM, Maxver

ASSESSMENT OF ALGORITHMS SVM AND MAXVER SYSTEM FOR CLASSIFICATION OF FOREST MONODOMINANT CANDEIA (*EREMANTHUS SP.*)

ABSTRACT - The present study aims to classify the use and land cover in the northern town of Mariana (MG) with a focus on the areas covered by candeia (*Eremanthus sp.*). We used four images RapidEye's northern city of Mariana (MG), with radiometric and geometric corrections. The basemap contains the vector files extracted from highways and hydrography of letters planialtimétricas IBGE. We tested two algorithms for image classification, as follows: MaxVer and SVM employing the software interface of ArcGIS 10 and Envi 4.8. We tested 51 combinations of bands, involving compositions of image RapidEye multispectral bands, two and three principal components of the image (PCAc12 and PCAc123) and NDVI to assess what the best combination for differentiating areas under monodominance candle of the other classes use and land cover. And the values of Kappa Kappa conditional obtained from different classifiers and different combinations of bands were compared by applying the test statistic z ($\alpha = 95\%$). The ratings obtained from the Maxver algorithm are higher than those obtained from SVM. The information extracted from the thematic map possibly indicate that 29.76% of the study area, approximately 25,320.85 hectares, is covered by a lamp in monodominance.

Keywords: candeia, *Eremanthus sp.*, SVM, Maxver

1. INTRODUÇÃO

A vegetação brasileira encontra-se fragmentada, distribuída na forma de mosaicos florestais remanescentes. A fragmentação da vegetação, além de reduzir indiscriminadamente as áreas ecologicamente distintas, causa também a diminuição da variabilidade genética inter e intrapopulacional, comprometendo o processo de evolução natural das espécies e a redução da capacidade de resiliência das mesmas frente às mudanças ambientais (Estopa, et al., 2006).

Os remanescentes florestais de Minas Gerais abrigam grande riqueza e diversidade de espécies vegetais, dentre essas a candeia (*Eremanthus* sp.) (CETEC, 1996). Sua ocorrência é registrada em áreas de solos rasos e pouco férteis, situados em locais montanhosos (Scolforo, et al, 2002). Os povoamentos são monodominantes (Scolforo, et al., 2002). É muito comum o registro de grandes candeiais em áreas onde seria difícil o desenvolvimento de outras espécies (Peréz, et al., 2004).

O estudo dos remanescentes monodominados pela candeia é necessário, visto que ela é uma espécie nativa com alto potencial econômico. Sua madeira apresenta alta durabilidade e resistência podendo ser empregada como moirões e também na construção civil, além disso, ela produz um óleo, α -bisabolol, que possui propriedades farmacêuticas e cosméticas (Pedralli, 1997).

Nas últimas três décadas, as técnicas de sensoriamento remoto tem se destacado como as principais metodologias empregadas no mapeamento do uso e cobertura do solo (Kramer, 2002; Foody e Mathur, 2004). Sendo este tipo de mapeamento essencial em estudos de gestão ambiental, em avaliações de biodiversidade e no apoio a decisão de ações ambientais, sociais e políticas econômicas (Souza; Teixeira e Silva, 2009).

A classificação supervisionada de imagens orbitais é uma metodologia amplamente empregada nos estudos de mapeamento e avaliação das mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra, bem como na espacialização de fragmentos florestais (Kavzoglu e Vieira, 1998; Prado, et al., 2009; Moreira, et al., 2010, Oliveira, 2011). Chagas et al. (2009) afirmam que diferentes técnicas de classificação do uso e cobertura da terra têm sido empregadas através da utilização de dados de sensoriamento remoto. Os autores ressaltam que muitas pesquisas apontam que diferentes algoritmos de classificação apresentam resultados diferentes, mesmo com a utilização de um mesmo conjunto amostral para o treinamento do classificador.

Os classificadores podem ser divididos em dois grupos: os supervisionados e os não supervisionados. Dentre os não supervisionados estão o Iso-Data e o K-Médias, entre outros; dentre os supervisionados, estão Máxima Verossimilhança (MaxVer), Distância Mínima, Árvores de Decisão, Redes Neurais e o *Support Vector Machines* (SVM), entre outros.

O algoritmo MaxVer é a metodologia de classificação supervisionada, pautada em parâmetros estatísticos, que avalia a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes (Tso e Mather, 2009). Deve-se fornecer ao sistema um conjunto de dados ou amostras representativas das classes de interesse para que o classificador tenha condições de determinar um diagrama de dispersão em torno da média, assim como a distribuição das probabilidades dos pixels pertencentes ou não a uma determinada classe (Campbell, 1987; França; Fernandes Filho e Xavier, 2009).

O algoritmo SVM tem como principal objetivo a determinação de limites de decisão que permitam a separação ótima entre classes a partir da minimização dos erros (Nascimento, et al., 2009). Este toma como base uma superfície de decisão que separa as classes, maximizando os limites de separação entre elas, sendo este conhecido como hiperplano ideal (*optimal hyperplane*). Os pontos localizados próximos a essa superfície são definidos como vetores de suporte (*support vectors*), encontrados durante a fase de treinamento (Burges, 1998). Com base no parâmetro de penalidade (γ) o usuário pode controlar a dualidade entre rigor/permissividade do hiperplano e a aceitação/rejeição de erros de treinamento contidos nas amostras (Tso e Mather, 2009) (Figura 1).

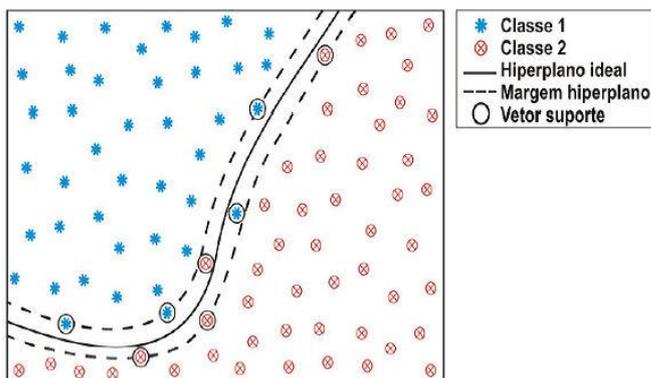


Figura 1. Hiperplano de separação entre classes espectrais do algoritmo SVM (Sulsoft, 2009).
Figure 1. Hyperplane separating the spectral class SVM algorithm (Sulsoft, 2009).

Esse algoritmo considera que a entrada de uma superfície de padrões não-linearmente separáveis, originando um espaço dimensional de novas características com

padrões linearmente separáveis, originando um hiperplano de separação ótimo entre as amostras (Tso e Mather, 2009).

Na fase de treinamento dos classificadores, atenção especial deve ser dada à seleção e coleta de amostras de treinamento. Tso e Mather (2009) afirmam que o tamanho das amostras é importante para a determinação da acurácia dos parâmetros estatísticos que descrevem as classes a ser obtidas. Os mesmos afirmam também que o número de amostras de treinamento relaciona-se diretamente com o intervalo de confiança das estimativas de acurácia de uma classificação, e com os parâmetros estatísticos estimados utilizados pelos algoritmos de classificação.

O Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) é empregado na estimativa da proporção de biomassa vegetal (Kawakubo, Morato e Luchiari, 2004), a partir da captura da resposta espectral da clorofila (Carvalho Júnior, et al., 2008). Para seu cálculo é considerada a diferença normalizada da resposta espectral das bandas do vermelho e do infra-vermelho próximo (Rouse, et al., 1973). Este minimiza as influências das variações acarretadas pelo ângulo solar bem como os efeitos atmosféricos, observados em dados produzidos por sensores remotos. Seu emprego permite realizar estudos acerca da vegetação em diferentes escalas temporais e espaciais (Carvalho Júnior, et al., 2008).

A técnica de componentes principais (PCA) é tida como uma das metodologias mais eficazes para o processamento de imagens em relação ao refinamento de dados multitemporais (Crosta, 1992; Souza, Araújo e Galvínio, 2007). A principal função da PCA é a determinação da correlação existente entre as bandas da imagem e, a partir do emprego de transformações matemáticas realizar a remoção desta. Assim, a primeira e a segunda componente principal (PCAc1 e PCAc2) conterá as principais informações armazenadas pelas bandas originais. A contribuição das demais PCAs será cada vez menor, até a última PCA, que conterá a informação com menor significância para o conjunto (Crosta 1992; Souza, Araújo e Galvínio, 2007).

O presente trabalho tem por objetivo principal classificar o uso e cobertura da terra na região norte do município de Mariana (MG) com enfoque para as áreas cobertas por candeia (*Eremanthus* sp.). Seus objetivos específicos são: avaliar o desempenho de diferentes classificadores de imagem; avaliar a contribuição de diferentes composições de bandas multiespectrais, das componentes principais e do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para a separação das demais feições florestais das áreas cobertas por candeia na paisagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está inserida no município de Mariana (MG). Este se localiza na região central do estado de Minas Gerais, nos domínios do Quadrilátero Ferrífero e da Bacia do Rio Doce. Geograficamente, o município está situado entre os meridianos $43^{\circ} 05'00''$ e $43^{\circ} 30'00''$ e os paralelos $20^{\circ}08'00''$ e $20^{\circ} 35'00''$ (IBGE, 2010), tendo uma área de $1.194,207 \text{ km}^2$ (Figura 2). Em 2010, sua população estimada foi de 54.219 habitantes, apresentando densidade demográfica de $45,40 \text{ hab./km}^2$ (IBGE, 2010).

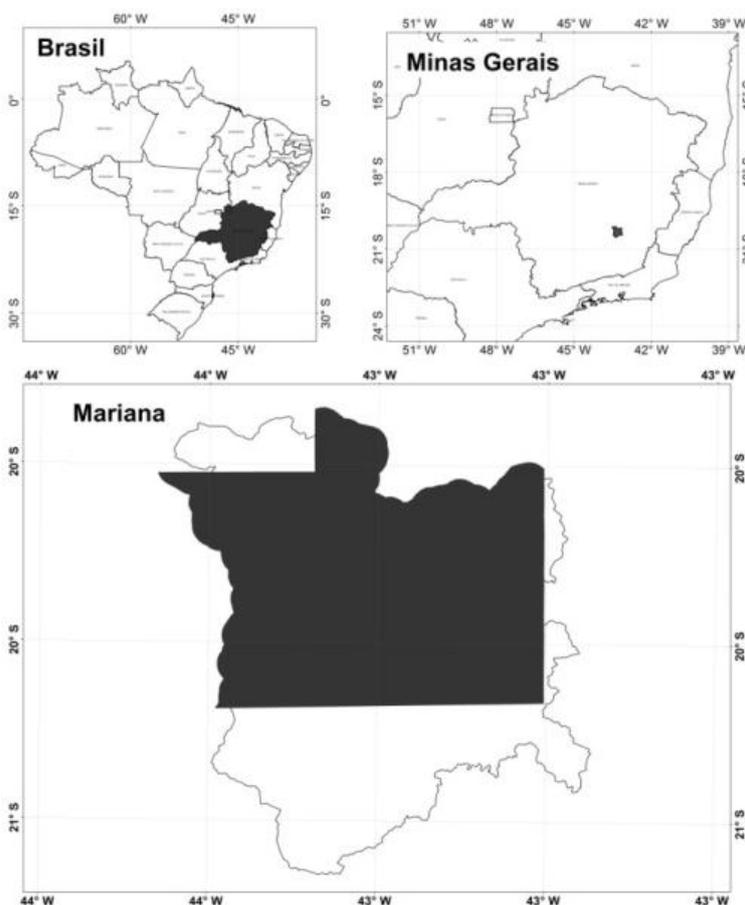


Figura 2 - Localização do município de Mariana (MG)
Figure 2 - Located of the municipality of Mariana (MG)

De acordo com a classificação de Koppen predomina no município o clima tipo Cwa, clima úmido e verão quente, estação seca curta e com temperaturas médias na faixa de $19,5 - 21,8^{\circ} \text{ C}$. No tocante aos tipos vegetacionais, o município por conta das suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas apresenta uma diversidade de tipologias. Destacam-se as áreas com Campo Rupestre, Floresta Tropical Subcaducifólia e povoadamentos monodominantes de candeia (IBGE, 1992). A presença

de áreas em regeneração, pastagens e com reflorestamento de eucalipto refletem a atuação humana na paisagem do município.

2.2. Base de dados

O estudo foi realizado utilizando-se quatro imagens Rapideye da região norte do município de Mariana (MG) adquiridas em 27/04/2010 e fornecidas pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), com as devidas correções radiométricas e geométricas. As imagens Rapideye possuem resolução espacial de 5m, sendo composta pelas bandas azul (440 – 510 μm), verde (520 – 590 μm), vermelho (630 – 685 μm), red-edge 690 – 730 μm e infravermelho próximo (760 – 850 μm) (Felix; Kazmierczak e Espindola, 2009). A base cartográfica foi composta pelos arquivos vetoriais de rodovias e hidrografia extraídos de cartas planialtimétricas do IBGE (2001).

Os algoritmos de classificação de imagens utilizados foram: MaxVer e SVM, empregando a interface dos softwares ArcGis 10 (Esri) e Envi 4.8 (ITT) respectivamente.

Foram testadas 51 combinações de bandas, envolvendo composições das cinco bandas multiespectrais da imagem Rapideye, duas e três componentes principais da imagem (PCAc12 e PCAc123) e o NDVI, a fim de avaliar qual a melhor combinação para diferenciar as áreas sob monodominância de candeia das demais classes de uso do solo (Tabela 1).

. O NDVI foi calculado a partir da expressão:

$$NDVI = \frac{(NIV - RED)}{(NIV + RED)}$$

Onde: NIV= reflectância da faixa do infravermelho (banda 5 - 760 - 850 μm) e RED= reflectância da faixa do vermelho (banda 3 - 630 - 685 μm).

Para avaliar a influência da banda 4 (red edge), o NDVI foi também calculado de forma adaptada utilizando as bandas 3 (0,63 a 0,68 μm) e a banda 4 (0,69 a 0,73), red-edge, em substituição a banda do infravermelho, sendo aqui tratado de NDVI₍₃₄₎. O NDVI₍₃₄₎ foi calculado a partir da expressão:

$$NDVI = \frac{(RED_{Edge} - RED)}{(RED_{Edge} + RED)}$$

Onde: RED_{Edge} = reflectância da faixa *Red-Edge* (banda 4 - 690 - 730 μm) e RED = reflectância da faixa do vermelho (banda 3 - 630 - 685 μm).

Tabela 1 - Combinações de bandas testadas nos algoritmos Maxver e SVM.

Table 1 - Combinations of bands in the tested algorithms Maxver and SVM.

Combinações simples	Com PCA2	Com PCA3	Com NDVI	Com NDVI ₍₃₄₎
123	123+PCAc12	123+PCAc123	123+NDVI	123+ NDVI ₍₃₄₎
124	124+PCAc12	124+PCAc123	124+NDVI	124+ NDVI ₍₃₄₎
125	125+PCAc12	125+PCAc123	125+NDVI	125+ NDVI ₍₃₄₎
234	234+PCAc12	234+PCAc123	234+NDVI	234+ NDVI ₍₃₄₎
235	235+PCAc12	235+PCAc123	235+NDVI	235+ NDVI ₍₃₄₎
245	245+PCAc12	245+PCAc123*	245+NDVI	245+ NDVI ₍₃₄₎
345	345+PCAc12*	345+PCAc123*	345+NDVI*	345+NDVI ₍₃₄₎ *
1234	1234+PCAc12	1234+PCAc123	1234+NDVI	1234+ NDVI ₍₃₄₎
1235	1235+PCAc12	1235+PCAc123	1235+NDVI	1235+ NDVI ₍₃₄₎
2345	2345+PCAc12	2345+PCAc123	2345+NDVI	2345+ NDVI ₍₃₄₎
12345	12345+PCAc12*	12345+PCAc123*	12345+NDVI*	12345+ NDVI ₍₃₄₎ *
	PCAc12	PCAc123		

*Não testadas no algoritmo SVM, devido a limitações no processamento.

2.3. Seleção e validação das amostras de treinamento

O treinamento dos algoritmos MaxVer e SVM foi dividido em três etapas: definição das classes temáticas de uso do solo; coleta de amostras de treinamento e avaliação do grau de sobreposição das amostras coletadas.

Inicialmente, foram definidas as classes temáticas para mapeamento, levando em consideração as formas de uso e ocupação do solo predominantes no município, as características espectrais dos alvos e a resolução espacial das imagens empregadas para o mapeamento. A área de estudo foi intensamente percorrida, tendo suas feições de uso registradas por fotografias e pontos de controle terrestre coletados com receptor de GPS de navegação. Foram definidas nove classes de uso/cobertura do solo: candeia, mata, eucalipto, nuvem, água, afloramento rochoso + campo rupestre, sombra de nuvem, pastagem e solo exposto.

A definição do número de amostras de treinamento foi baseada na distribuição e no tamanho dos fragmentos de candeia, classe de uso de maior interesse para o presente estudo. Considerando que as amostras devem ser distribuídas em toda a área de estudo e que não deve haver sobreposição de amostras de treinamento com as de validação (Campbell, 1987), optou-se por utilizar 30 amostras por cada classe de uso do solo.

Foram utilizados polígonos de forma retangular para a extração das amostras de treinamento como forma de minimizar a quantidade de vértices nos polígonos utilizados para delimitar a amostra, de acordo com recomendação de Campbell (1987). O tamanho de cada amostra variou entre 15 e 16 pixels.

Para avaliar o grau de sobreposição espectral das classes de uso nas amostras de treinamento foi utilizado o índice de separação de classes de Jefferyes-Matusita (JM) e também a divergência transformada (DT).

A distância JM entre um par de classes é definida por:

$$JM = 2 \times (1 - e^{-B_{ij}})$$

Onde, B_{ij} é a distância de Bhattacharyya calculada a partir da expressão:

$$B_{ij} = \frac{1}{2} (M_i - M_j)^T \left(\frac{\Sigma M_i + \Sigma M_j}{2} \right)^{-1} (M_i - M_j) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\frac{|\Sigma i + \Sigma j|}{2}}{\sqrt{|\Sigma i| |\Sigma j|}} \right)$$

Onde M_i e M_j são os vetores das médias das classes i e j . Quanto maior o valor de B maior a separabilidade das classes.

A DT é calculada de acordo com:

$$DT = 2(1 - e^{-d_{ij}/8})$$

Onde:

$$d_{ij} = \frac{1}{2} T_r \{ (\Sigma i - \Sigma j) | \Sigma^{-1} i - \Sigma^{-1} j \} + \frac{1}{2} T_r \{ (\Sigma i^{-1} + \Sigma j^{-1}) (m_i - m_j)(m_i - m_j)^t \}$$

Onde, m_i Σi e m_j Σj são as médias e covariâncias das distribuições da probabilidade da i -ésima e da j -ésima classe. T_r é o traço da matriz.

Os valores de distância JM e DT variam em uma escala de 0 a 2 (Richards, 1993). Se a distância entre as classes i e j for 2, significa que as amostras são completamente distintas..

2.4. Classificação supervisionada

A classificação supervisionada utilizando o algoritmo MaxVer foi executada no software ArcGis 10 e o algoritmo SVM no software Envi 4.8. Foram utilizadas as mesmas amostras de treinamento e de validação para ambos os algoritmos.

A avaliação da exatidão das classificações foi realizada a partir das matrizes de confusão que foram obtidas pelo cruzamento dos mapas temáticos, resultantes da classificação, com as 15 amostras de validação para cada classe coletados em campo com uso de GPS de navegação. Essas obedeceram aos mesmos critérios utilizados para a coleta das amostras de treinamento, sendo dada atenção especial para a não ocorrência de sobreposição entre as mesmas. Para a avaliação da exatidão foram utilizados os índices Kappa para todas as classes de uso e cobertura e Kappa Condicional (Congalton, 1991) para a classe candeia.

O índice Kappa é calculado de acordo com:

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

Onde, P_o = proporção de pontos de referência que concordam; P_c =somatório do produto dos elementos das linhas e colunas marginais ($\sum X_{i+}X_{+i}$). P_c indica a proporção de elementos atribuídos a determinada classe ao acaso (Congalton, 1991).

O Kappa Condicional para a classe i é calculado de acordo com:

$$K = \frac{nn_i - n_{i+n_j}}{nn_{i+} - n_{i+n_j}}$$

Onde : n_{+j} = número de amostras classificadas na classe i no mapa; n_{i+} = número de amostras classificadas no conjunto de amostras de validação.

Os valores de Kappa obtidos foram classificados conforme proposto por Landis e Kock (1977) (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação do mapa temático com base no índice Kappa (Landis e Kock, 1977)
Table 2 - Classification of the thematic map based on the Kappa index (Landis e Koch, 1977)

COEFICIENTE KAPPA (K)	CLASSIFICAÇÃO DO MAPA TEMÁTICO
K < 0,2	Ruim
0,2 < K < 0,4	Razoável
0,4 < K < 0,6	Bom
0,6 < K < 0,8	Muito bom
K > 0,8	Excelente

Os valores de Kappa e Kappa condicional obtidos a partir de diferentes classificadores e diferente combinações de bandas foram comparados entre si aplicando o teste estatístico z ($\alpha = 95$) (Vieira, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do grau de sobreposição das amostras de treinamento pelos índices Jefferyes-Matusita e Divergência Transformada apontaram que a separação entre as classes é ótima (Vieira, 2001), visto que todas apresentaram índices superiores a 1,5 (Tabela 3).

A classificação supervisionada utilizando o algoritmo Maxver alcançou valores de Índice Kappa variando de 0,22 a 0,95. Entre as 57 composições testadas, 3,51% dos resultados são interpretados como “razoável”, 5,26 % como sendo bom, 5,26 % como “muito bom” e 85,96% como “excelente” de acordo com Landis e Kock, (1977) (Figura 3).

A classificação supervisionada utilizando o algoritmo SVM alcançou valores de Índice Kappa variando de 0,08 a 0,89. Entre as 49 composições testadas 2,04% dos resultados são interpretados como “ruim”, 28,57% como “muito bom” e 69,39% como “excelente” conforme Landis e Kock (1977) (Figura 3).

Tabela 3 - Distância entre amostras de treinamento pelos índices Jefferyes-Matusita e Divergência Transformada.

Table 3 - Distance between training samples by the indices Jefferyes-Matusita and Transformed Divergence.

Uso	Dist	CAND	MAT	EUC	NUV	AG	AFL	SOM	PAS
MAT	JM	1,91							
	DT	1,97							
EUC	JM	2	1,66						
	DT	2	2						
NUV	JM	1,98	1,98	1,98					
	DT	2	2	2					
AG	JM	2	2	2	2				
	DT	2	2	2	2				
AFL	JM	1,96	2	2	2	1,55			
	DT	1,98	2	2	2	1,73			
SOM	JM	2	1,99	2	2	1,86	1,93		
	DT	2	2	2	2	2	2		
PAS	JM	2	2	2	1,99	2	2	2	
	DT	2	2	2	2	2	2	2	
SOL	JM	1,99	2	2	1,98	1,56	1,56	1,93	2
	DT	2	2	2	2	1,82	1,98	2	2

Onde: CAND= candeia; MAT=mata; EUC=eucalipto; NUV=nuvem; AG=água; AFL=aflorescimento de rocha; SOM=sombra; PAS=pastagem; SOL=solo exposto; JM=Jefferyes-Matusita; DT= Divergência Transformada.

A tendência geral de superação do algoritmo Maxver em comparação ao SVM, avaliada pelo índice kappa, pode ser observada na Figura 3. De modo geral os coeficientes kappa das classificações obtidos a partir do algoritmo Maxver, foram significativamente superiores aos coeficientes kappa calculados a partir do SVM pelo teste z a 95% de probabilidade.

A Figura 4 mostra os efeitos da utilização dos índices NDVI, NDVI₍₃₄₎, PCA2 e PCA3 sobre a exatidão da classificação. Os resultados do teste z (p=95%) para o valor de kappa das classificações realizadas a partir do algoritmo Maxver mostra que de modo geral há diferença significativa entre os mesmos. Sendo que as classificações onde o NDVI é utilizado como uma das bandas de entrada os kappas não diferem entre si, mas quando testados tendo como referência as classificações obtidas utilizando somente as bandas originais da imagem nota-se diferença significativa.

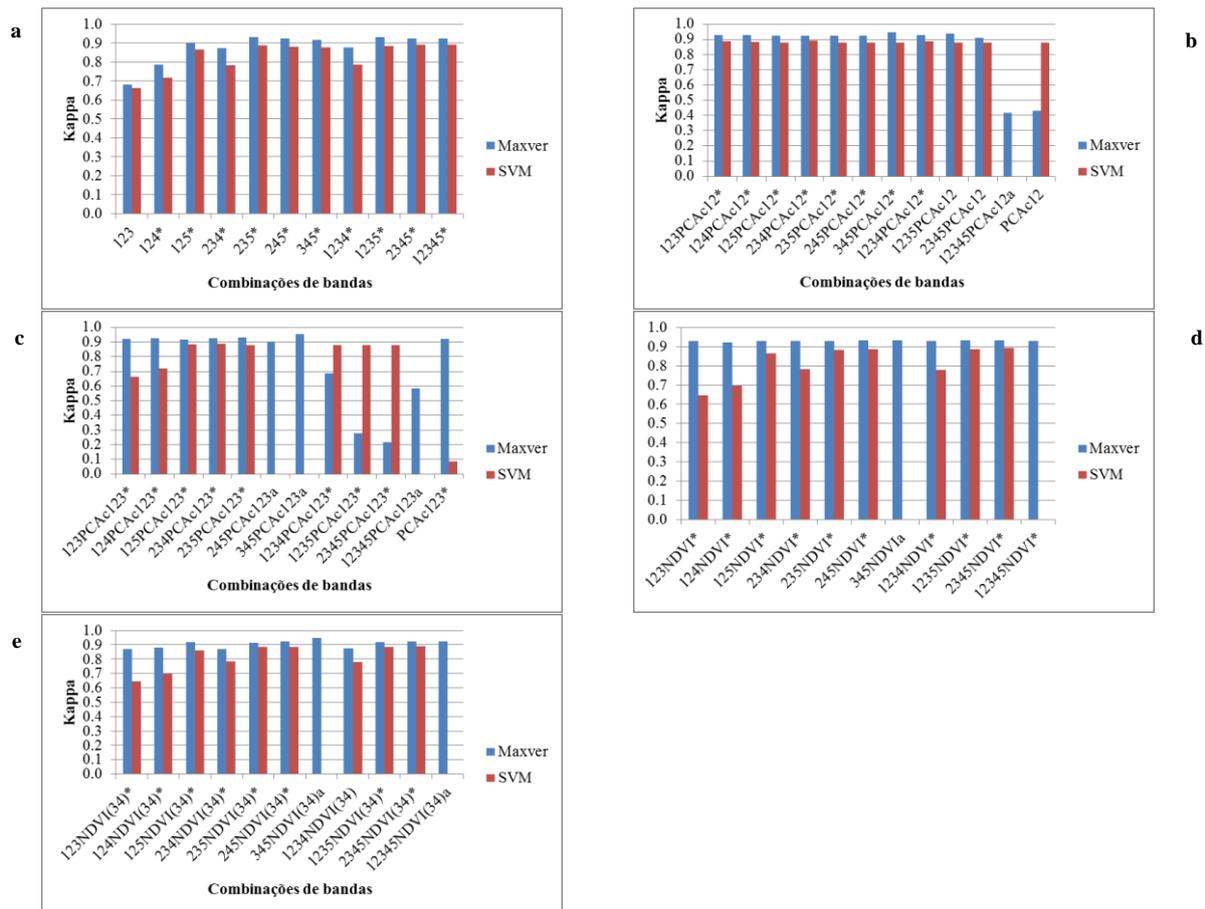


Figura 3 - Índice Kappa calculado para a classificação da imagem Rapideye pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e pelo *Support Vector Machine* (SVM): (a) bandas da imagem; (b) bandas da imagem mais PCAc12; (c) bandas da imagem mais PCAc123; (d) bandas da imagem mais NDVI; (e) bandas da imagem mais NDVI₍₃₄₎. * no eixo X indica diferença estatística a 95% de probabilidade pelo teste z entre os métodos MAXVER (Máxima verossimilhança) e SVM (*Support Vector Machine*).^aNão processada pelo algoritmo SVM (*Support Vector Machine*).

Figure 3 - Kappa index calculated for the RapidEye image classification algorithm by Maximum Likelihood (MAXVER) and the Support Vector Machine (SVM): (a) band image, (b) bands of the image plus PCAc12 (c) bands of the image more PCAc123 (d) NDVI more image bands (e) NDVI more image bands (34). * the X axis indicates statistical significance at 95% probability the z test between the MAXVER (Maximum Likelihood) and SVM (Support Vector Machine) methods. ^a Not processed by the algorithm, SVM (Support Vector Machine).

Para as classificações utilizando o algoritmo Maxver, o uso do NDVI promoveu melhora no kappa global, mas o incremento é mais notável na classificação obtida a partir da combinação deste com as bandas do visível, sendo ausente quando é empregado com as bandas 235 (Figura 4a). Fato semelhante ocorre quando se emprega o NDVI₍₃₄₎. Nesse caso há incremento significativo quando empregado este com as bandas do visível (123, 124 e 125), mas passa ser ausente quando em conjunto com as demais combinações de bandas (234, 1234e 2345) (Figura 4b).

A utilização das componentes principais não acarretou aumento significativo na exatidão das classificações, exceto para as classificações empregando somente as bandas do visível. Vale destacar que ocorreu decréscimo significativo no kappa global quando houve a combinação dessas com a composição total de bandas, sendo que ao se empregar três componentes principais esse decréscimo também ocorre nas combinações 245, 1234, 1235, 2345 e 12345 (Figura 4c e d).

Para as classificações utilizando o algoritmo SVM, o incremento no kappa global com o uso do NDVI, de modo geral, foi ausente (Figura 5a). Fato semelhante ocorre quando se emprega o NDVI₍₃₄₎. (Figura 5b).

A utilização das componentes principais utilizando o algoritmo SVM não representou aumento significativo nas classificações, exceto para as classificações empregando as bandas do visível. (Figura 5c e d).

Considerando que o objetivo principal do presente estudo foi o mapeamento das áreas monodominadas por candeia, procedeu-se a análise do kappa condicional da classe “candeia” para a definição de qual composição é a mais recomendada.

Considerando somente as 49 classificações processadas em ambos os algoritmos analisou-se os kappas condicionais obtidos de acordo com Landis e Kock, (1977). Assim, para o Maxver 2,04% dos resultados são interpretados como “ruim”, 2,04 % como sendo “razoável”, 4,08 % como “muito bom” e 91,84% como “excelente”. Sendo que para o algoritmo SVM, 2,04% dos resultados são interpretados como “ruim”, 18,37 % como “muito bom” e 79,59% como “excelente”.

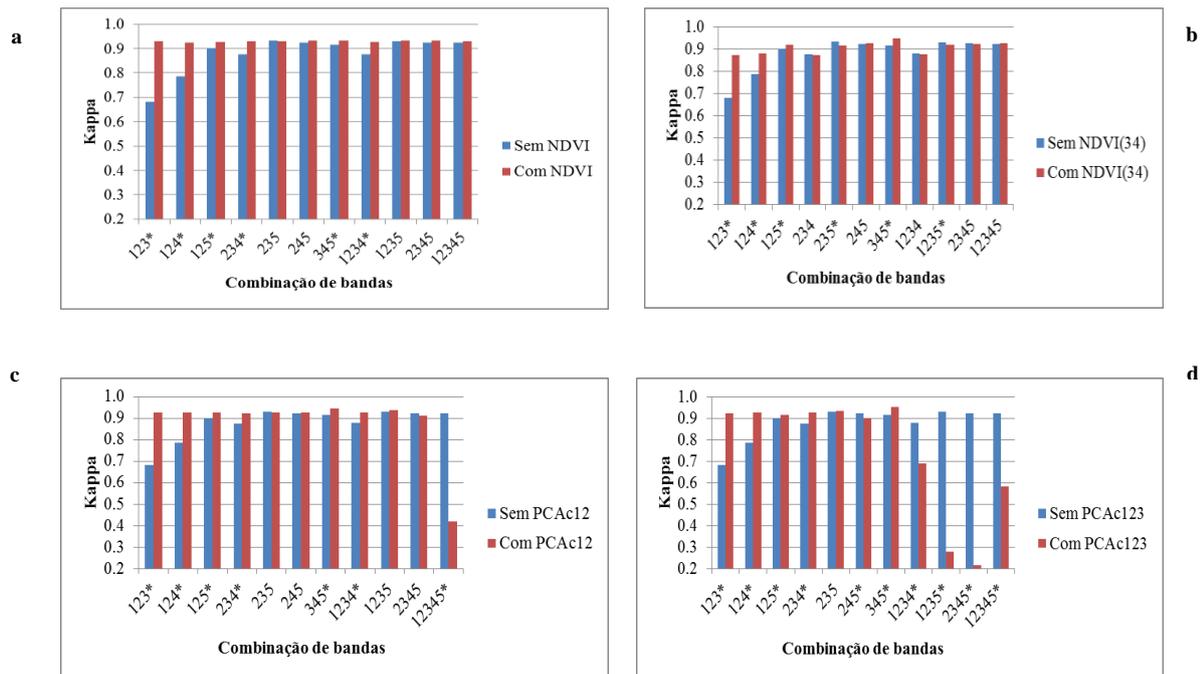


Figura 4 - Efeito da utilização do NDVI (a), do NDVI₍₃₄₎ (b), da PCAc12 (c) e da PCAc123 (d) no coeficiente Kappa empregando o algoritmo Maxver. *indica diferença estatística a 95% de probabilidade pelo teste z.

Figure 4 - Effect of the use of NDVI (a) of NDVI (34) (b) of PCAc12 (c) and the PCAc123 (d) the coefficient Kappa Maxver using the algorithm.*indicates statistical significance at 95% probability the z test.

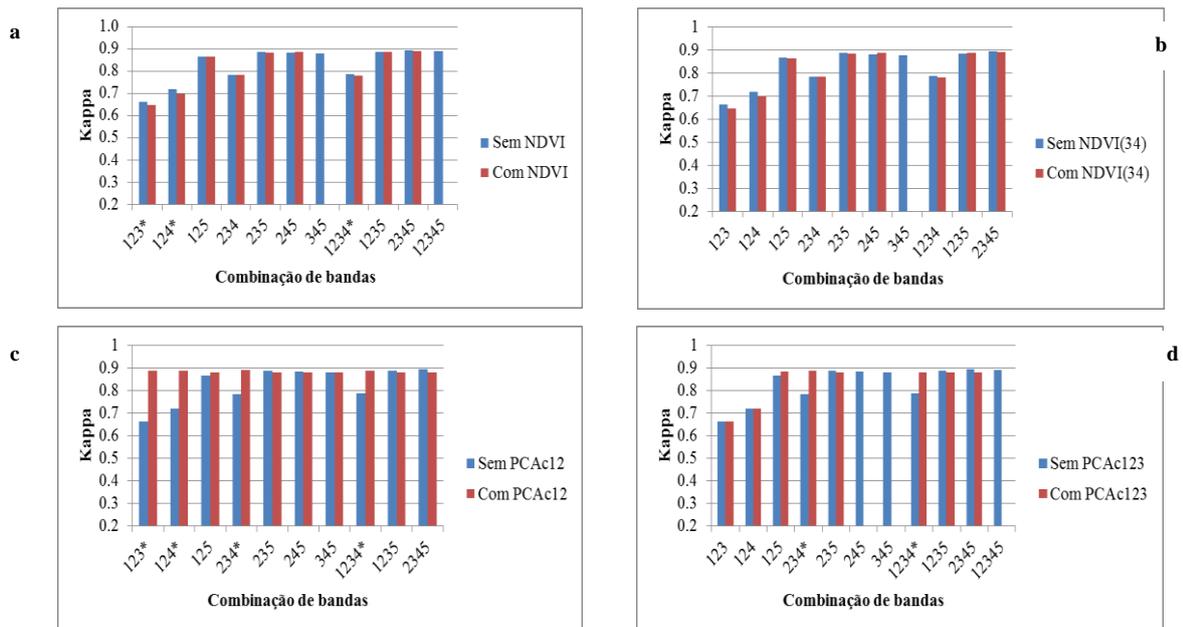


Figura 5 - Efeito da utilização do NDVI (a), do NDVI₍₃₄₎ (b), PCAc12 (c) e da PCAc123 (d) no coeficiente Kappa empregando o algoritmo SVM. *indica diferença estatística a 95% de probabilidade pelo teste z.

Figure 5 - Effect of the use of NDVI (a) of NDVI (34) (b), PCAc12 (c) and the PCAc123 (d) the coefficient Kappa SVM using the algorithm. .*indicates statistical significance at 95% probability the z test.

Considerando o kappa condicional da classe candeia, os resultados obtidos a partir da utilização do algoritmo Maxver em comparação ao SVM, de modo geral, são semelhantes (Figura 6). Sendo que os mesmos não apresentaram, de modo geral, diferença significativa pelo teste z a 95% de probabilidade.

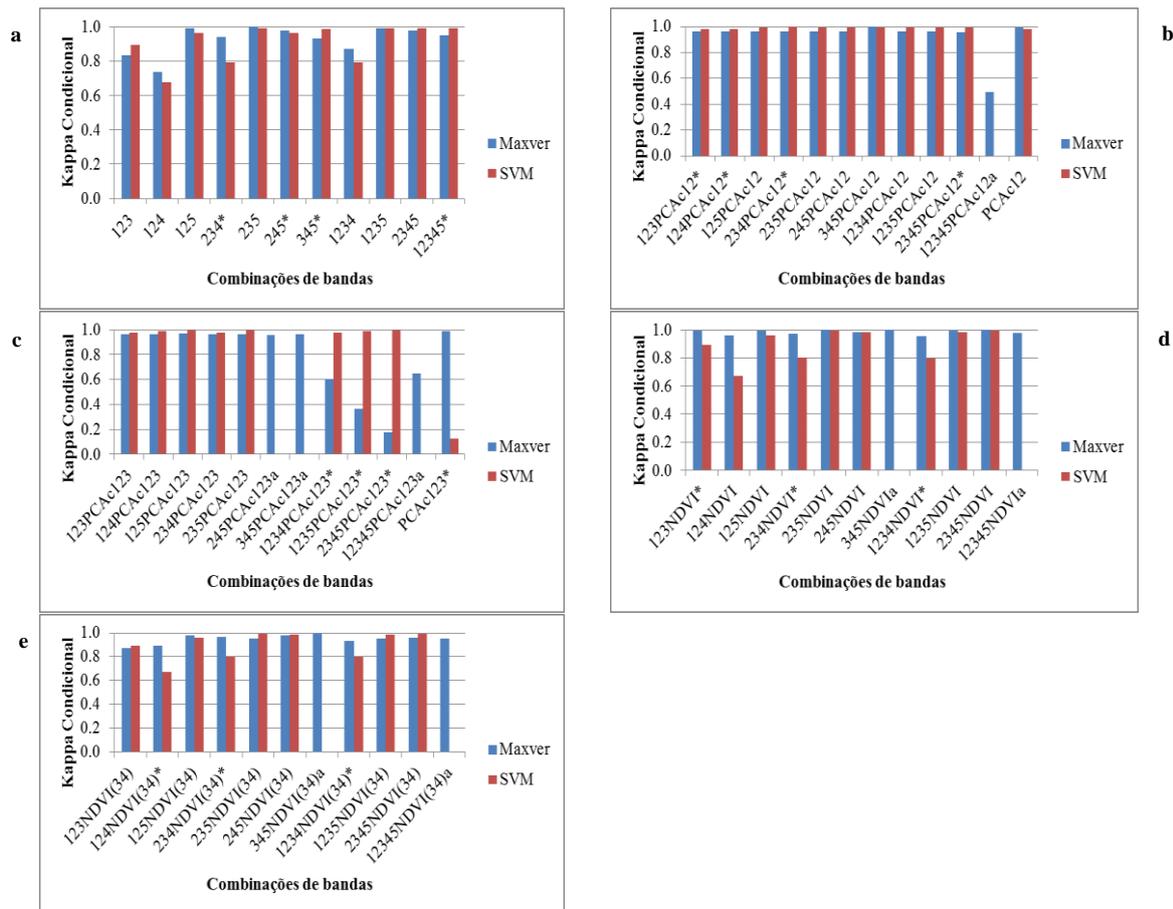


Figura 6 - Índice Kappa condicional para a classe de uso Candeia, calculado para a classificação da imagem Rapideye pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e pelo *Support Vector Machine* (SVM): (a) bandas da imagem; (b) bandas da imagem mais PCAc12; (c) bandas da imagem mais PCAc123; (d) bandas da imagem mais NDVI; (e) bandas da imagem mais NDVI₍₃₄₎. * no eixo X indica significância estatística a 95% de probabilidade pelo teste z entre os métodos MAXVER (Máxima verossimilhança) e SVM (*Support Vector Machine*). ^a Não processada pelo algoritmo SVM (*Support Vector Machine*).

Figure 6 - Conditional Kappa index for the class use Candela, calculated for the RapidEye image classification algorithm by Maximum Likelihood (MAXVER) and the Support Vector Machine (SVM): (a) band image, (b) bands of the image plus PCAc12; (c) more image bands PCAc123 (d) NDVI more image bands (e) NDVI more image bands (34). * X-axis indicates statistical significance at 95% probability the z test between the MAXVER methods (Maximum Likelihood) and SVM (Support Vector Machine). ^a Do not processed by the algorithm SVM (Support Vector Machine).

Para a escolha do melhor classificador para o mapeamento da classe de candeia, foram selecionadas os kappa classificados como “excelente” das classificações Maxver e SVM que também obtiveram kappa condicional da classe candeia igual a 1,00. Ao relacionar esses dois índices, verificou-se que para o algoritmo Maxver seis combinações de bandas atendiam estas condições, enquanto para o SVM somente uma combinação apresentou este resultado. Sendo assim, submeteu-se essas sete combinações ao teste z a 95% de significância (Tabela 4). Conclui-se que as combinações 345+NDVI₍₃₄₎ e 345+PCAc12 originaram classificações pelo algoritmo

Maxver com diferença estatística. Sendo que todas as classificações produzidas por esse algoritmo diferenciam-se da produzida pelo SVM.

Tabela 4 - Resultado do teste z para o índice Kappa das classificações com índice kappa condicional igual a 1,0 para a classe candeia, produzidos pela classificação da imagem Rapideye pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e pelo *Support Vector Machine* (SVM).

Table 4 - Z test result for the Kappa the conditional kappa index of classifications equal to 1.0 for the class lamp, produced by RapidEye image classification algorithm for Maximum Likelihood (MAXVER) and the Support Vector Machine (SVM).

		Combinções de bandas						
Combinções de bandas	Kappa	345+NDVI ⁽³⁴⁾ 0,95	345+PC Ac12 0,95	345+ND VI 0,93	2345+ND VI 0,93	235 0,93	235+ND VI 0,93	234+PC Ac12 ¹ 0,89
345+NDVI ⁽³⁴⁾	0,95	0,00	-0,32	-2,34*	-2,78*	2,79*	-2,92*	-8,54*
345+PCAc12	0,95		0,00	-2,02*	-2,45*	2,45*	-2,59*	-8,20*
345+NDVI	0,93				0,00	0,00	-0,14	-5,90*
2345+NDVI	0,93				0,00	0,00	-0,20	-7,61*
235	0,93					0,00	-0,14	-5,90*
235+NDVI	0,93						0,00	-5,76*
234+PCAc12 ¹	0,89							

* indica significância estatística a 95% de probabilidade pelo teste z entre os métodos MAXVER (Máxima Verossimilhança) e SVM (*Support Vector Machine*).¹Processada a partir do SVM (*Support Vector Machine*).

Ao considerar em conjunto o índice kappa e o kappa condicional, observa-se que para o mapeamento dos usos do solo avaliados, com especial interesse nas áreas monodominadas por candeia, os resultados obtidos pelo algoritmo Maxver são superiores aos encontrados pelo SVM, discordando dos resultados encontrados por Pal e Mather (2004); Foody e Mathur (2004) e Souza, et al. (2010) que observaram que o SVM obteve desempenho superior aos encontrados pelo Maxver.

Portanto, recomenda-se o emprego do algoritmo Maxver para a separação das áreas monodominadas por candeia dos demais usos do solo. Sendo a melhor classificação a combinação 345+PCAc12, com kappa de 0,95 e kappa condicional para a classe candeia de 1,00, cujo mapa temático pode ser visualizado na Figura 7.

O mapa temático permitiu extrair informações a respeito da distribuição e da dimensão das classes de uso do solo predominante na região em estudo. Observa-se pela Tabela 5 que aproximadamente 29,76% da área de estudo, cerca de 25.320,85 ha, está coberta por candeia em monodominância, sendo que maior área (36,18%) é ocupada pelas matas.

Pelo fato dos corpos d'água da área serem, em sua maioria, pequenos riachos de margens estreitas, os mesmos não foram identificados pelo algoritmo fazendo com que estes tenham baixa expressividade (0,89%).

Tabela 5 - Classes de uso e ocupação do solo na região norte do município de Mariana (MG) e suas respectivas áreas de abrangência.

Table 5 - Classes use and land cover the Northern region of the municipality of Mariana (MG) and their respective coverage areas.

Classe de Uso do Solo	Área (ha)	Área (%)
Candeia	25.320,85	29,76
Mata	30.786,86	36,18
Eucalipto	3.319,98	3,90
Nuvem	3.243,18	3,81
Água	760,04	0,89
Afloramento de rocha	5.479,22	6,44
Sombra da nuvem	1.788,99	2,10
Pastagem	9.047,71	10,63
Solo exposto	5.341,43	6,28
TOTAL	85.088,25	100,00

Apesar do kappa obtido para a classificação considerada para a elaboração do mapa temático e para a quantificação da área das classes de uso do solo ser classificado pela literatura como “excelente”, a classe eucalipto apresentou área menor do que a esperada baseado em observações feitas no campo e também visualmente na imagem. Mas considerando que o principal objetivo do presente estudo foi o mapeamento das áreas monodominadas por candeia, optou-se por não buscar pela melhora da classificação desta classe de uso e cobertura do solo. Analisando a matriz de confusão (Tabela 6), observa-se que ao se avaliar os erros de omissão (quando um pixel é omitido de sua classe correta e é assinalado à outra classe) e comissão (quando um pixel é erroneamente incluído a uma classe quando deveria ser assinalado à outra), a

classe temática eucalipto apresentou 20% de confundimento com a classe mata quando considerado a exatidão do produtor.

A classe candeia não apresentou erros de omissão e de comissão. Sendo que ocorreu confundimento da classe mata com eucalipto (16% de confundimento); da classe água com as classes sombra e solo (12% e 6% de confundimento, respectivamente); da classe afloramento de rocha com água (1% de confundimento); da classe solo com água e nuvem (2% de confundimento com cada uma das classes).

Tabela 6 - Matriz de confusão da classificação da composição 345+PCAc12 de uma imagem Rapideye obtida pelo algoritmo Maxver.

Table 6 - Confusion matrix of the classification of 345 + PCAc12 composition of an image obtained by RapidEye Maxver algorithm.

	CAN	MAT	EUC	NUV	AG	AFL	SOM	PAS	SOL	Total	EU (%)
CAND	118	0	0	0	0	0	0	0	0	118	100
MAT	0	112	21	0	0	0	0	0	0	133	84
EUC	0	0	83	0	0	0	0	0	0	83	100
NUV	0	0	0	126	0	0	0	0	0	126	100
AG	0	0	0	0	101	0	15	0	7	123	82
AFL	0	0	0	0	2	139	0	0	0	141	99
SOM	0	0	0	0	0	0	132	0	0	132	100
PAS	0	0	0	0	0	0	0	120	0	120	100
SOL	0	0	0	2	2	0	0	0	115	119	97
TOTAL	118	112	104	128	105	139	147	120	122	1095	-
EP (%)	100	100	80	98	96	100	90	100	94	-	-

Onde: CAND= candeia; MAT=mata; EUC=eucalipto; NUV=nuvem; AG=água; AFL=afloramento de rocha; SOM=sombra; PAS=pastagem; SOL=solo exposto. EP = exatidão do produtor; EU = exatidão do usuário.

4. CONCLUSÕES

De modo geral, as classificações obtidas a partir do algoritmo Maxver obtiveram kappas superiores aos obtidos a partir do SVM comparados pelo teste z a 95% de probabilidade.

O uso do índice de vegetação normalizada (NDVI) e o índice de vegetação normalizada adaptado (NDVI₍₃₄₎) promoveram melhora no índice kappa, mas o incremento é mais significativo na classificação obtida a partir da combinação destes com as bandas do visível. A utilização das componentes principais não representou aumento significativo na acurácia das classificações, exceto para aquelas que só apresentavam bandas do visível.

A análise geral do uso do solo obtido demonstra que a região em estudo apresenta mais da metade de sua área (aproximadamente 70%) coberta por tipologias florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURGES, C. J.C. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*. Boston: Springer Netherlands, v. 2, p. 121-167, 1998.
- CAMPBELL, J.B. *Introduction to remote sensing*. New York, The Guilford Press, 1987, 551p.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A. de; et al. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor Modis no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 505-517, 2008.
- CHAGAS, C. S.; et al. Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, n.3, p.319–327, 2009.
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.*, n.37, p. 35-46, 1991.
- CROSTA, A.P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas – SP: IG /UNICAMP, 1992.
- ESTOPA, R. A.; et al. Diversidade genética em populações naturais de candeia. *Scientia Forestalis*, n. 70, p. 97-106, 2006.
- FELIX, I.M.; KAZMIERCZAK, M.L.; ESPINDOLA, G.M. de. Rapideye: a nova geração de satélites de observação da Terra. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 7619-7622. Natal: INPE, 2009. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.18/doc/7619-7622.pdf>. Acesso em: 05/10/2011.
- FOODY, M.G.; MATHUR, A. A relative evaluation of multiclass image classification by Support Vector Machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, n. 42, 2004, p. 1335 – 1343.
- FRANÇA, M. M., FERNANDES FILHO, E. I. E XAVIER B. T. de L. Análise do Uso da Terra no Município de Viçosa-MG Mediado por Classificações Supervisionadas com Redes Neurais Artificiais e MaxVer. *RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE*, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 92-101.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. Ecofisiologia da Candeia. Belo Horizonte: SAT/CETEC, 1996. 103p. (Relatório Técnico).

IBGE, Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1, Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Rio de Janeiro, 1992.

KAVZOGLU, T.; VIEIRA, C.A.O. An analysis of artificial neural network pruning algorithms in relation to land cover classification accuracy. IN: Proceedings of the remote sensing students conference. Oxford: UK, p. 53-58, 1998.

KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G.; LUCHIARI, A. Processamento das imagens HGR-SPOT 5 na determinação de classes de uso da terra e manchas de cobertura vegetal na região de Teodoro Sampaio – Pontal do Paranapanema. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p. 127-136, 2004.

KRAMER, J.H. Observation of the earth and its environment: Survey of missions and sensors. Berlim: Springer, 2002.

LANDIS, J.R.; KOCH,G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, vol. 33, p.159-174, 1977.

MCCOY, R.M. Field methods in remote sensing. New York: The Guilford Press, 2005, p.177.

MOREIRA, M.A.; et al. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. Engenharia Agrícola, v.30, n.6, p.1123-1135, 2010.

NASCIMENTO, R.F.F.; et al. O algoritmo *Support Vector Machines (SVM)*: avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2079-2086.

OLIVEIRA, F. P. de. Monodominância de Aroeira: Fitossociologia, Relações Pedológicas e Distribuição Espacial em Tumiritinga-MG. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, 2011.

PAL, M.; MATHER, P. M. Assessment of the effectiveness of support vector machines for hyperspectral data. Future Generation Computer Systems, v. 20, n. 7, p. 1215–1225, 2004.

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento dacandeia. (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip.) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto. MG. Revista Árvore, v.21, n.2, p.301-306, 1997.

PÉREZ, J. F. M.; et al. Sistema de manejo para a candeia - *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish – a opção do sistema de corte seletivo. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 257-273, jul./dez., 2004

PRADO, R.B.; et al. Mapeamento e descrição do padrão de uso e cobertura da terra em municípios do sudoeste goiano a partir de imagens orbitais TM/Landsat-5. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

RICHARDS, J.A. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Berlim: Springer-Verlag, 1993.

ROUSE, J.W.; et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, Proceedings, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

SCOLFORO, J.R.; et al. Manejo sustentado das candeias: *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, 2002.

SOUZA, B. F. S.; et al. Avaliação de classificadores baseados em aprendizado de máquina para a classificação do uso e cobertura da terra no bioma caatinga. *Revista Brasileira de Cartografia*, nº 62, v.2, 2010.

SOUZA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, de A. T. F.. Classificação de bioma caatinga usando Support Vector Machines (SVM). *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 7917-7924. Natal: INPE, 2009. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.03/doc/7917-924.pdf>>. Acesso em: 05/10/2011.

SOUZA, S.F.; ARAÚJO, M.do.S.B.de; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças do uso da terra no município de Serra Talhada-PE utilizando análise por componentes principais (ACP). *Revista de Geografia*, Recife: UFPE-DCG/NAPA, v.24, n.3, set/dez, p. 85-100, 2007.

SULSOFT. Envi: curso avançado (Manual do Curso de Envi 4.6). SULSOFT, 2009.

TSO, B.; MATHER, P. Classification methods for remotely sensed data. Danvers: Taylor & Francis Group, 2009.

TSO, B.; MATHER, P. Support vector machines. IN: TSO, B.; MATHER, P. Classification methods for remotely sensed data. Danvers: Taylor & Francis Group, 2009.

VIEIRA, C.A.O. Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study. 2001. 353p. Tese (Doutorado) - Universidade de Nottingham.

INVENTÁRIO FLORESTAL E FITOSSOCIOLOGIA EM ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL DE CANDEIA (*EREMANTHUS SP.*) EM AMBIENTE ALTIMONTANO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

RESUMO - O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos fatores ambientais sobre a distribuição das áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus sp.*) na região norte do município de Mariana (MG). Para a realização do inventário florestal de áreas sob monodominância de candeia, amostrou-se 6800 m² de candeiais onde foram medidas as circunferências a 1,30 m do solo de todos os fustes com CAP \geq 15,7 cm. A altura total de cada fuste foi estimada com o auxílio de uma vara calibrada. A estrutura paramétrica da vegetação foi analisada em termos da estimativa das variáveis: número de árvores por hectare e área basal. As informações do inventário das parcelas referente ao número de indivíduos, área basal e valor de cobertura, características químicas e físicas do solo, foram reunidas em uma única matriz de análise, sendo os dados submetidos a técnicas de estatística multivariada. Nos fragmentos florestais estudados, a candeia apresentou alta dominância, frequência e densidade de indivíduos. O estudo demonstrou que os candeiais estão instalados nos solos com oligotrofismo marcante, onde a soma de base e a saturação de bases são notadamente baixas. As variáveis, soma de bases, saturação por bases e número de indivíduos, permitiram agrupar os fragmentos avaliados em três grupos.

Palavras-chave: candeia, *Eremanthus sp.*, monodominância, oligotrofismo

PHYTOSOCIOLOGY FOREST INVENTORY AND AREAS OF NATURAL OCCURRENCE OF CANDEIA (*EREMANTHUS SP.*) IN THE ENVIRONMENT ALTIMONTANO THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO

ABSTRACT - This study aims to evaluate the influence of environmental factors on the distribution of areas of natural occurrence of candeia (*Eremanthus sp.*) In the northern town of Mariana (MG). For the inventory of forest areas under monodominance of candeia sampled up to 6800 m² candeiais where circumferences were measured at 1.30 m above the ground with all CAP stems \geq 15.7 cm. The total height of each stem was estimated with the aid of a calibrated rod. The parametric structure of the vegetation was analyzed in terms of the forecast variables: number of trees per hectare and basal area. The inventory information regarding the number of shares of basal area, and amount of coverage, chemical and physical characteristics of the soil, were gathered into a single array analysis, and the data subjected to multivariate statistical techniques. In forest fragments studied, the lamp has high dominance, frequency and density. The study showed that candeiais are installed in soils with low nutrient content marked where the sum of base and base saturation are markedly lower. The variables, sum of bases, base saturation and number of individuals allowed to group the fragments evaluated in three groups.

Keywords: candeia, *Eremanthus sp.*, monodominance, oligotrophic

1. INTRODUÇÃO

A candeia (*Eremanthus sp.*) pode ser encontrada no Brasil, segundo Carvalho (1994), nos seguintes estados: Bahia, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. A

espécie pertence à família Asteraceae, classificada como pioneira, sendo considerada precursora na invasão dos campos (Carvalho, 1994). Nos remanescentes florestais de Minas Gerais, a candeia se destaca dentre as espécies vegetais abrigadas (CETEC, 1996).

O porte da candeia varia de 2 a 10 m, podendo seu diâmetro atingir até 35 cm. Em povoamentos naturais normalmente apresentam fuste irregular e curto e copa muito ampla, com tronco apresentando casca castanha, grossa e cheia de fendas e, nos galhos mais novos, a casca torna-se menos rústica (Scolforo et al., 2002; Carvalho, 1994).

Esta espécie apresenta baixa exigência nutricional sendo sua ocorrência registrada sobre solos rasos e pouco férteis situados em locais montanhosos, podendo formar povoamentos monodominantes (Scolforo, et al., 2002). É muito comum o registro de grandes candeiais em áreas onde seria difícil o desenvolvimento de outras espécies (Pérez et al., 2004).

O termo monodominante foi empregado e difundido por Hart; Hart e Murphy (1989). Estes apontaram o fato da ocorrência de uma única espécie em uma determinada comunidade florestal em mais de 50% do número de indivíduos da mesma. Connel e Lowman (1989) afirmam que podem ser utilizadas a área basal, biomassa ou cobertura do dossel para medir a dominância das florestas monodominantes. A monodominância de uma espécie em determinado fragmento florestal afeta a representação relativa das espécies, conseqüentemente há diminuição da diversidade local de espécies.

No Brasil, estudos acerca das florestas monodominantes vêm sendo desenvolvidos com diferentes espécies florestais. Oliveira (2011) analisou a fitossociologia, relações pedológicas e distribuição espacial de fragmentos monodominados por aroeira (*Myracrodunon Urundeuva*) no município de Tumiritinga (MG). Amador (2006) analisou a composição florística e caracterizou a estrutura de dois fragmentos monodominantes de carandá (*Copernicia Alba*) nas sub-regiões do Miranda e Nabileque, Pantanal Sul-Mato-Grossense. Arieira e Cunha (2006) estudaram a fitossociologia de uma floresta monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) no Pantanal Norte (MT). Marimom e Felfili (2000) analisaram a distribuição das classes de diâmetro e alturas na floresta monodominante de *Brosimum rubescens* Taub. no município de Água Boa (MT).

As técnicas de estatística multivariada podem auxiliar na compreensão da influência dos fatores citados anteriormente, visto que essa busca agrupar dados homogêneos, relacionando-os a partir de coeficientes de similaridade ou dissimilaridade (Moreira; Riedel e Landim, 2008). Ao discriminar os dados esta permite um melhor entendimento das relações, da interdependência e da contribuição relativa de cada uma das variáveis analisadas (Moreira; Riedel e Landim, 2008).

O entendimento da influência dos fatores ambientais: altitude, declividade, solo com seus atributos físicos e químicos na estrutura dos candeiais, fornecem informações que auxiliam no aperfeiçoamento das técnicas de manejo, além de permitir a obtenção de dados auxiliares na compreensão do padrão de distribuição espacial dos fragmentos e de seus fatores controladores.

Diante do apresentado, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do solo com seus atributos físicos e químicos sobre a distribuição das áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus sp.*) na região norte do município de Mariana (MG). É também objetivo do presente trabalho caracterizar a estrutura horizontal e a estrutura paramétrica de povoamentos florestais sob monodominância de candeia na região norte do município de Mariana (MG).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na região norte do município de Mariana, com área de 852 km² (Figura 1). De acordo com a classificação de Koppen predomina na área o clima tipo Cwa, clima úmido e verão quente, estação seca curta e com temperaturas médias na faixa de 19,5° C a 21,8° C.

No tocante aos domínios vegetacionais, a área de estudo por conta das suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas apresenta uma diversidade de tipologias. Sendo que o maior destaque é das áreas com Campo Rupestre, Floresta Tropical Subcaducifólia e florestas monodominantes de candeia (IBGE, 1992). A presença de áreas em regeneração, pastagens e com reflorestamento de eucalipto refletem a atuação humana na paisagem.

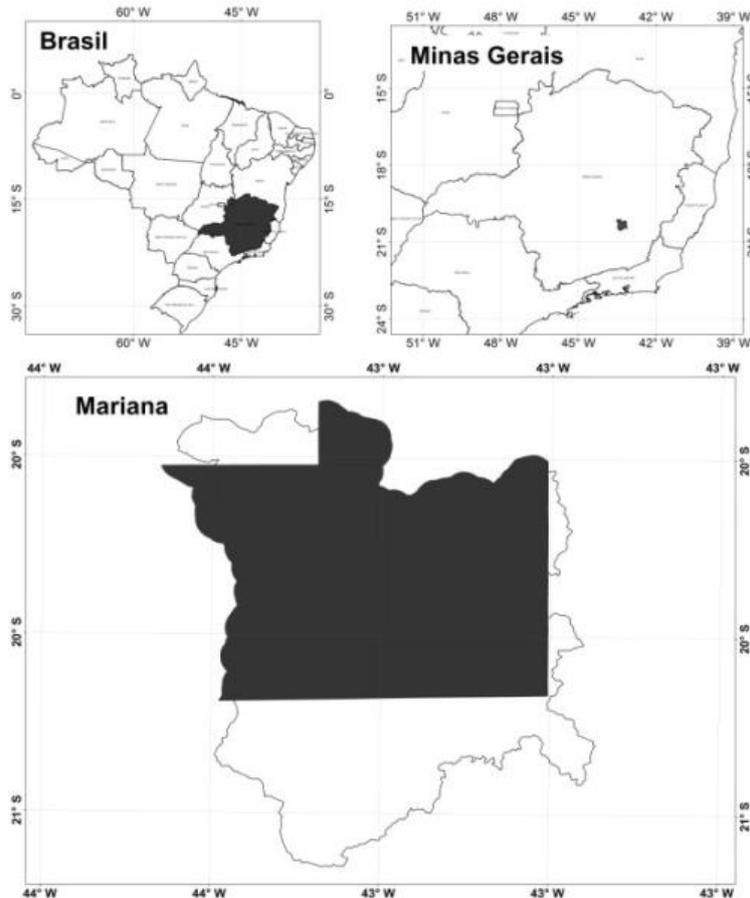


Figura 1- Localização da área de estudo.

Figure 1 - Located of the municipality of the study area.

2.2. Coleta e análise de dados

Para a realização do inventário florestal de áreas sob monodominância de candeia, dezessete parcelas de 400 m² foram distribuídas de forma aleatória ao longo da área de estudo. O número de parcelas foi definido mediante um inventário piloto, procedido de nova medição, com base no nível de probabilidade de 95%, garantindo a precisão de $\pm 20\%$ (IEF, 2005). O tamanho da amostra foi calculado utilizando a expressão (Soares; Paula Neto e Souza, 2011):

$$n = \frac{t^2 \times (CV)^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 \times (CV)^2}{N}}$$

Onde, t^2 = valor tabelado da estatística “t” de Student, a dado nível de significância (α) e n-1 graus de liberdade; E%= precisão requerida ou erro admissível em torno da média; N = número total de unidades de amostra na população; CV= variabilidade da característica de interesse na população.

O reconhecimento dos fragmentos monodominados se deu a partir de mapa temático de uso e ocupação do solo da região norte do município de Mariana (Faria, 2012) e de visitas à área de estudo.

Na execução do inventário florestal amostraram 6.800 m² de candeiais onde foram medidas com fita métrica as circunferências a 1,30 m do solo (CAP) de todos os fustes com CAP \geq 15,7 cm. A altura total de cada fuste foi estimada com o auxílio de uma vara calibrada.

Os parâmetros fitossociológicos da estrutura horizontal (densidade, frequência, dominância, valor de importância e valor de cobertura) foram estimados conforme Mueller-Dombois e Ellenberg (1974) (Quadro 1).

Quadro 1 - Fórmulas de cálculo dos parâmetros da estrutura horizontal.

Box 1 - Formulas for calculating the parameters of the horizontal structure.

Parâmetro	Fórmula	Parâmetro	Fórmula
Densidade Absoluta	$DAi = \frac{n_i}{A}$	Frequência Absoluta (FAi)	$FAi = \frac{U_i}{U_t} \times 100$
Densidade relativa (DRi)	$DRi = \frac{n_i}{N} \times 100$	Frequência Relativa (FRi)	$FRi = \frac{FAi}{\sum FAi} \times 100$
Dominância Absoluta (DoAi)	$DoAi = \frac{ABi}{A}$	Valor de Importância (VI)	$VI (\%) = \frac{DRi + DoAi + FRi}{3}$
Dominância Relativa (DoRi)	$DoRi = \frac{ABi}{DoT} \times 100$	Valor de cobertura (VC)	$VC (\%) = \frac{DRi + DoRi}{2}$

Em que n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; A = área amostrada, em hectare; ABi = área basal das árvores amostradas da i -ésima espécie, em m²; DoT = dominância total, em m².ha⁻¹; U_i = número de parcelas de área fixa em que ocorre a i ésima espécie; e U_t = número total de parcelas de área fixa.

A estrutura paramétrica da vegetação foi analisada em termos da estimativa das variáveis: número de árvores por hectare (N) e área basal (AB).

As análises de composição florística, diversidade, estrutura horizontal e paramétrica foram obtidas por meio do processamento dos dados coletados em campo, através do *software* Mata Nativa 2 (CIENTEC, 2006).

Considerando que o presente estudo tem como principal objetivo caracterizar as áreas monodominantes de candeia na região norte do município de Mariana (MG) bem como avaliar a influência dos fatores ambientais sobre a distribuição das áreas de ocorrência natural de candeia (*Eremanthus sp.*), optou-se

pela realização do inventário e da caracterização fitossociológica somente dos indivíduos pertencentes a esse gênero.

2.3. Amostragem de solos

Foram coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0-10 cm em cada uma das parcelas avaliadas. As amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de malha de 2 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetido a análises físicas e químicas de rotina.

A análise granulométrica foi determinada conforme EMBRAPA (1997) modificada por Ruiz (2005a, b), onde 10 g de TFSA foram dispersas com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitada com 50 rpm durante 16 horas. Posteriormente, frações areia grossa e fina foram separadas por tamisação em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm de abertura, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, e a fração silte calculada por diferença. O pH foi determinado em água (relação solo:solução 1:2,5). As concentrações de fósforo, sódio e potássio trocáveis (Extrator Mehlich-1); cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹ na relação 1:10); H + Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ na relação 1:10 e pH 7,0); e carbono orgânico (método de Walkley-Black). A concentração do fósforo remanescente foi determinada após agitar 5 cm³ de solo com 50 mL de solução de 10 mmol L⁻¹ de CaCl₂, contendo 60 mg L⁻¹ de P, durante uma hora (Alvarez, *et al*, 2000). Foi calculada a soma de bases (SB = Ca + Mg + K + Na); a saturação por bases ($V = 100 \text{ SB/T}$); as capacidades de troca catiônica total ($T = \text{SB} + \text{Al} + \text{H}$) e efetiva ($t = \text{SB} + \text{Al}$); e a saturação por alumínio ($m = 100 \text{ Al/t}$).

2.4. Análises estatísticas

As informações do inventário das parcelas referente ao número de indivíduos, área basal, valor de cobertura, características químicas e físicas do solo, foram reunidas em uma única matriz de análise, sendo os dados submetidos a teste de normalidade pela aplicação do teste de Shapiro-Wilk.

O conjunto de variáveis que apresentou distribuição normal foi padronizado e submetido à análise fatorial utilizando o método da Máxima Verossimilhança para estimar os fatores do modelo fatorial, e para a rotação dos fatores o método Varimax (Ferreira, 1996). A padronização dos dados foi realizada com base na seguinte fórmula:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Onde, x = variável aleatória normal; μ = média aritmética; σ = desvio padrão.

O teste de normalidade e a análise fatorial foram realizados utilizando o software Statistic 7.0 (Statsoft, 2007).

Foi utilizada a Análise de Fator para reduzir o conjunto de variáveis correlacionadas a um conjunto de menor dimensão, não correlacionados, que explicam a maior parte da variação do conjunto de dados originais. Essas foram selecionadas para o agrupamento das parcelas a partir da Análise de Cluster, utilizando o Método Aglomerativo Hierárquico.

Empregou-se Análise Discriminante para a definição do melhor agrupamento obtido e de quais variáveis tiveram maior contribuição para a separação dos grupos. Utilizou-se a aplicação mais comum dessa, que consiste em determinar quais das variáveis discriminariam melhor os grupos determinados pela análise de agrupamento, segundo diferenças estatísticas significantes a um dado nível de probabilidade (99%). As variáveis discriminantes foram avaliadas a partir da estatística de Wilks Lambda (λ) e F, sendo a exatidão do modelo discriminante avaliada a partir do coeficiente canônico, autovalores e a classificação de cada um dos grupos com base nas variáveis com maior contribuição discriminante.

Para a definição dos grupos, traçou-se uma linha paralela ao eixo horizontal, partindo próxima da Distância Euclidiana média, conforme recomendado por Bourouche e Saporta (1972).

As características físicas e químicas dos solos bem como as variáveis fitossociológicas de cada grupo foram comparadas entre si aplicando o teste estatístico t ($p = 95\%$) utilizando a interface do software Statistic 7.0 (Statsoft, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estrutura horizontal e paramétrica

No primeiro grau de inclusão, foram amostrados 1291 fustes correspondentes a 997 indivíduos, onde 58,82% destes é candeia. Registrou-se a presença de outras espécies em sete parcelas (41,18%), num total de 408 indivíduos.

A Tabela 1 apresenta a relação das parcelas onde ocorreram outras espécies.

Tabela 1 – Tabela de frequência das parcelas com presença de candeia (*Eremanthus sp.*) e de outras espécies.

Table 1 - Table of frequency of plots with presence of a lamp (*Eremanthus sp.*) and other species.

Nome Científico	Nome Vulgar	Família	Parcelas
<i>Eremanthus sp.</i>	Candeia	Asteraceae	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33
Outras espécies	Indefinida	Indefinida	1, 7, 9, 15, 17, 25, 27

A análise da estrutura horizontal (Tabela 2) dos fragmentos florestais monodominados por candeia na área de estudo demonstrou que a candeia é responsável por 98,4% do valor de cobertura e 89,21% do valor de importância, contribuindo com 98,40% da densidade, 98,41% da dominância e 70,83% da frequência. Com base no conceito de monodominância difundido por Hart; Hart e Murphy (1989) pode-se afirmar que a candeia é monodominante nos fragmentos avaliados. Pérez, et al (2004) estudando dez fragmentos de candeia no município de Aiuruoca (MG) encontraram densidade de 39%, dominância relativa de 46,7% com frequência relativa de 100%. Souza, et al. (2007) em seu estudo acerca da fitossociologia da ocorrência de candeia em três diferentes ambientes do Parque Estadual do Itacolomi (MG) encontrou dominância de 60%, 34,8% e, de 31,2% nas três áreas estudadas.

Comparando-se os valores das variáveis Densidade Relativa (DR) e Dominância Relativa (DoR) com os encontrados para a monodominância de outras espécies florestais descritas na literatura por Oliveira (2011); Amador (2006); Arieira e Cunha (2006) e Marimom e Felfili (2000) percebe-se que candeia apresenta comportamento monodominante superior.

Tabela 2 - Estrutura horizontal dos fragmentos florestais monodominados por candeia (*Eremanthus sp.*) em Mariana (MG).

Table 2 - Horizontal structure of forest fragments by monodominados candeia (*Eremanthus sp.*) In Mariana (MG).

Nome Científico	N	AB	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVC	IVI
<i>Eremanthus sp.</i>	981	3,80	1442,65	98,4	100	70,83	5,59	98,41	96,80	98,4
Indeterminada	16	0,06	23,53	1,6	41,18	29,17	0,09	1,59	3,20	1,6
*** Total	997	3,87	1466,18	100	141,18	100	5,68	100	100	100

AB = área basal; DA = densidade absoluta; DR = densidade relativa; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; IVC = índice de valor de cobertura percentual e IVI = índice de valor de importância percentual.

3.2. Aplicação de técnicas multivariadas para o agrupamento das parcelas

Pela análise de fator foi possível observar que as variáveis: Ca, Mg, H+Al, soma de bases, CTC efetiva e total, saturação por bases, matéria orgânica, P remanescente, areia grossa e fina, silte, argila, número de indivíduos, área basal e valor de cobertura apresentam maior poder de distinção dentre todas as variáveis formadoras da matriz de análise.

O agrupamento das 17 parcelas avaliadas em grupos homogêneos foi realizada pelo método *Complete Linkage*, o quadrado da distância Euclidiana foi utilizado como método de agrupamento para medir a dissimilaridade ou similaridade entre as parcelas. Assim, obteve-se a separação de três grupos, como pode ser observado na Figura 3, sendo que os números no eixo vertical representam a distância Euclidiana e no eixo horizontal, as árvores que vão gerando os grupos.

- 1º Grupo: P19, P21, P23 e P27.
- 2º Grupo: P5, P7, P9, P11, P13, P15, P17, P25, P29 e P33;
- 3º Grupo: P1, P3 e P31.

As propriedades físico-químicas dos solos e as características fitossociológicas dos grupos podem ser visualizadas na Tabela 3, bem como a diferença estatística existente entre os grupos pelo teste t ($p=95\%$).

A análise discriminante demonstrou que a soma de bases, saturação por bases e o número de indivíduos são as variáveis com maior poder discriminante. Ao avaliar o modelo discriminante dos grupos gerados pelo coeficiente canônico, os autovalores e pela tabela de classificação nota-se que este foi eficiente para a discriminação dos grupos.

As parcelas do primeiro grupo e do segundo grupo se caracterizam por muito baixa soma de bases e saturação por bases (Alvarez, et al, 1999). Em decorrência do oligotrofismo marcante, essas apresentam maior número de indivíduos de candeia.

O terceiro grupo é caracterizado por baixa soma de bases e muito baixa saturação por bases, mas o acréscimo na soma de bases faz com que o oligotrofismo deste seja menor quando comparado aos demais grupos, fato refletido no menor número de indivíduos deste grupo.

Os baixos teores de matéria orgânica, baixos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) associado a pH ácido e alta saturação por Al podem explicar o número de indivíduos apresentado por cada um dos fragmentos avaliados.

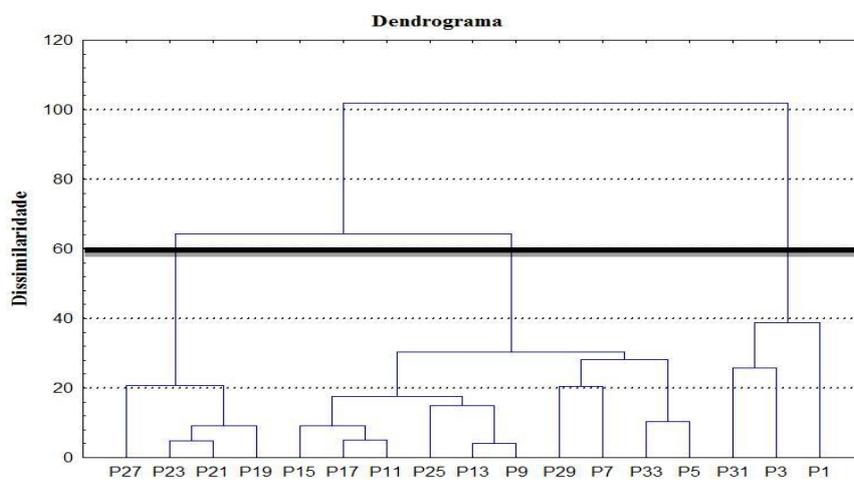


Figura 3 - Agrupamento dos fragmentos de candeia (*Eremanthus sp.*) avaliados com base nas variáveis ambientais.

Figure 3 - Grouping of fragments of candeia (*Eremanthus sp.*) Evaluated based on environmental variables.

Tabela 3 - Estatística descritiva das características físicas e químicas dos solos e fitossociológicos dos grupos.

Table 3 - Descriptive statistics of physical and chemical characteristics of soil and phytosociological the groups.

Variável	Grupos						Valores de teste t		
	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 1 vs Grupo 2	Grupo 1 vs Grupo 3	Grupo 2 vs Grupo 3
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.			
pH	4,88	0,06	4,61	0,18	4,54	0,27	2,81*	2,54	0,55
P	1,60	0,88	1,46	1,19	3,57	1,93	0,21	-1,84	-2,36*
K	46,25	20,19	47,70	14,49	63,00	19,16	-0,15	-1,11	-1,50
Ca²⁺	0,10	0,04	0,15	0,08	0,43	0,13	-1,17	-4,98*	-4,66*
Mg²⁺	0,02	0,01	0,04	0,02	0,07	0,03	-1,73	-4,16*	-2,69*
Al³⁺	1,18	0,46	1,60	0,46	2,02	0,84	-1,59	-1,72	-1,15
H + Al	9,80	1,41	8,22	2,31	14,60	1,77	1,26	-4,02*	-4,36*
SB	0,23	0,08	0,30	0,11	0,66	0,08	-1,24	-7,32*	-5,41*
(t)	1,41	0,54	1,91	0,50	2,68	0,77	-1,65	-2,61*	-2,09
(T)	10,03	1,46	8,52	2,39	15,26	1,70	1,16	-4,38*	-4,49*
V	2,25	0,59	3,58	0,80	4,43	0,97	-2,99*	-3,73*	-1,56
M	83,40	0,88	83,90	5,05	73,03	11,91	-0,19	1,80	2,42*
MO	4,17	0,96	3,71	1,55	8,46	3,31	0,55	-2,53	-3,63*
P_rem	16,20	3,68	32,62	11,25	23,67	10,19	-2,80*	-1,39	1,23
AG	43,25	9,91	36,10	10,92	43,00	21,52	1,13	0,02	-0,78
AF	24,25	2,87	40,10	10,98	19,00	12,12	-2,79*	0,86	2,86*
Sil	5,25	1,89	10,00	3,77	13,67	7,77	-2,36*	-2,15	-1,17
Argila	27,25	10,34	13,80	8,97	24,33	20,53	2,44*	0,25	-1,34
Altitude	832,9 4	25,45	839,2 4	58,49	877,3 8	68,81	-0,20	-1,22	-0,96
Declividade	14,18	14,38	20,43	7,47	24,35	8,21	-1,09	-1,08	-0,78
e	91,00	18,49	53,80	22,00	31,67	20,82	2,97*	3,99*	1,54
N	0,34	0,10	0,22	0,09	0,11	0,07	2,33*	3,39*	1,91
AB	0,99	0,37	0,58	0,30	0,24	0,16	2,16	3,21*	1,90

* indica significância estatística a 95% de probabilidade pelo teste t; Desv. Pad. = desvio padrão; pH em água (relação 1:2,5.); P - Na - K (Extrator Mehlich-1); Ca -Mg -Al (Extrator: KCl - 1mol/L); H + Al (Extrator: Acetato de Cálcio 0,5mol/L - pH 7,0); SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação de Bases; m= Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem= Fósforo Remanescente; AG= areia grossa; AF=areia fina; sil=silte; N= número de indivíduos de candeia; AB = área basal observada, em m²/há; IVC = índice de valor de cobertura percentua.

4. CONCLUSÕES

Nas parcelas inventariadas há baixa diversidade da espécie, fato comprovado pelos valores de densidade relativa e dominância relativa com consequente monodominância de candeia nos fragmentos florestais avaliados.

O estudo demonstrou que os candeiais estão instalados nos solos com oligotrofismo marcante, onde a soma de base e a saturação de bases são notadamente baixas.

As variáveis, soma de bases, saturação por bases e número de indivíduos, permitiram agrupar os fragmentos avaliados em três grupos. Parcelas com maior número de indivíduos apresentaram soma de bases e saturação por bases muito baixas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V. V.H.; et al, Interpretação dos resultados das análises de solos, IN: RIBEIRO, A, C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (eds.), Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação, Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p,25-32.
- AMADOR, G.A. Composição florística e caracterização estrutural de duas áreas de carandazais nas sub-regiões do Miranda e Nabileque, Pantanal Sul Mato-Grossense, Brasil. 2006, 56p. Dissertação (Mestrado Ecologia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.
- ANJOS, A. Análise do padrão de distribuição espacial do palmitreiro (*Euterpe edulis*) utilizando a função K de Ripley. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.
- ARIEIRA, J.; CUNHA, C.N. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. Acta Botânica Brasil, n.20, v.3, p.569-580, 2006.
- BOUROCHE, J.M.; SAPORTA, G. Análise de dados. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.
- BRASIL. MMA/CONAMA. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 392 de 25 de Junho de 2007. Define vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. Brasília, DF. Diário Oficial da União. 2007.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília, DF: Embrapa-CNPQ, 1994.

CIENTEC. Mata Nativa versão 2.0: sistema para análise fitossociológica e elaboração de inventários e planos de manejo de florestas nativas. Viçosa-MG: Cientec - Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas Ltda., 2006.

CONNEL, J.H.; LOWMAN, M.D. Low-diversity tropical rain forests: some possible mechanisms for their existence. *The American Naturalist*, 134, p. 88-119, 1989.

ENCINAS, J. I.; DA SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, 2005.

ESTOPA, R. A.; *et al.* Diversidade genética em populações naturais de candeia. *Scientia Forestalis*, n. 70, p. 97-106, 2006.

FARIA, M. M. Candeias: espacialização e interações ambientais no município de Mariana (MG). 2012. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FERREIRA, D. F. Análise multivariada. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. Ecofisiologia da Candeia. Belo Horizonte: SAT/CETEC, 1996 (Relatório Técnico).

HART, T.B.; HART, J.A; MURPHY, P.G. Monodominant and species-rich forests of the humid tropics: causes for their co-occurrence. *The American Naturalist*, n. 133,v. 5, p. 613-633, 1989.

IBGE, Série Manuais Técnicos em Geociências, número 1, Manual Técnico da Vegetação Brasileira, Rio de Janeiro, 1992.

IEF. PORTARIA Nº 191, DE 16 DE SETEMBRO DE 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=11212>. Acesso em 20 nov 2011.

MARIMON, B. S., FELFILI, J. M. Distribuição de diâmetros e alturas na floresta monodominante de *Brosimum rubescens* Taub. na Reserva Indígena Areões, Água Boa-MT, Brasil. *Revista Árvore*, v.24, n.2, p.143-150, 2000.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R. Estrutura da Mata da Silvicultura, uma floresta estacional semidecidual montana no município de Viçosa, MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 21, n. 2, p. 151-160, 2000.

MOREIRA, M. R.; RIEDEL, P. S.; LANDIM, P. M. B. Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas como subsídio à compartimentação fisiográfica. *Revista Brasileira de Cartografia* Nº 60, v.04, p. 339-353, dezembro 2008

MORI, C. L. S. de O. et al. Caracterização anatômica, química e física da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, p. 451-456, out./dez., 2010.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: John Wiley & Sons, 1974.

OLIVEIRA, F. P. Monodominância de aroeira: Fitosociologia, relações pedológicas e distribuição espacial em Tumiritinga, MG. 2011. 87p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da candeia. (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip.) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto. MG. *Revista Árvore*, v.21, n.2, p.301-306, 1997.

PÉREZ, J. F. M. Sistema de manejo para candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). 2001. 71 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PÉREZ, J. F. M.; et al. Sistema de manejo para a candeia - *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish – a opção do sistema de corte seletivo. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 257-273, jul./dez., 2004

SCOLFORO, J.R.; et al. Manejo sustentado das candeias: *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, 2002.

SILVA, M. A. da et al. Análise da distribuição espacial da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) sujeita ao sistema de manejo porta-sementes. *Cerne*, Lavras, v. 14, n. 4, p. 311-316, out./dez. 2008.

SOARES, C.P.B; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. Dendrometria e Inventário Florestal. Viçosa: Ed. UFV, 2011.

SOELTL, T.M. Caracterização edáfica e vegetacional de espécies de *Eremanthus* (Asteraceae) sob litotipos distintos na Floresta Estadual do Uaimií – MG. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

SOUZA, A. L. de; et al. Caracterização fitossociológica em áreas de ocorrência Natural de candeia (*Eremanthus Erythropappus* (D.C.) Macleish). *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.667-677, 2007.

SOUZA, V. C.; LORENZI H. Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005.

CICLAGEM DE NUTRIENTES POR TÉRMITAS EM SISTEMAS FLORESTAIS MONODOMINANTES DE CANDEIA (*EREMANTHUS SP.*) SOBRE DIFERENTES SUBSTRATOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

RESUMO - O presente trabalho tem como objetivo analisar a ciclagem de nutrientes em montículos sobre diferentes substratos do Quadrilátero Ferrífero, em sistemas florestais monodominantes de candeia. Foram selecionadas dezessete áreas de ocorrência natural de candeia, onde se coletou uma amostra composta de solo superficial e três amostras da parede externa de montículos de cupins em cada uma das áreas, que foram submetidas a análises físicas e químicas de rotina. Os atributos físicos e químicos dos solos das parcelas e dos montículos de cada um dos fragmentos foram comparados entre si aplicando o teste estatístico t. Para cada montículo amostrado foi calculado o incremento relativo (IC) dos atributos físicos e químicos avaliados em relação ao solo adjacente. Foi ajustada equação de regressão entre os valores observados no solo vs IC, para os atributos químicos e físicos do solo. Foram realizados testes de correlação de Spearman entre as seguintes propriedades físicas e químicas: pH, P, MO, t e % de argila para os solos dos fragmentos de candeia e os solos das paredes externas dos cupins. Os valores de incremento relativo mostraram que em solos com teores de argila menores que 15%, a capacidade de seleção de partículas finas pelos térmitas é maior. As paredes externas dos cupinzeiros se diferenciam do ambiente de seu entorno pelo maior acúmulo de matéria orgânica e nutrientes, sendo este acúmulo mais evidente para Ca e Mg. A matéria orgânica é a principal responsável pelo incremento relativo de nutrientes nos montículos.

Palavras-chave: candeia, *Eremanthus sp.*, térmitas, ciclagem de nutrientes

NUTRIENT CYCLING BY TERMITES IN MONODOMINANT FOREST ECOSYSTEMS OF CANDEIA (*EREMANTHUS SP.*) ON DIFFERENT SUBSTRATES OF THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO, BRAZIL

ABSTRACT - This study aims to analyze the nutrient cycling in mounds on different substrates Quadrangle in forest systems monodominant of candeia. Seventeen were selected areas of natural occurrence of candeia, which collected a composite sample of surface soil samples and three of the outer wall of termite mounds in each of the areas, which were submitted to physical and chemical routine. The physical and chemical properties of soils of the plots and mounds of each of the fragments were compared by applying the statistical test t. For each mound sampled was calculated relative increment (IC) of the physical and chemical attributes evaluated in relation to the surrounding soil. Regression equation was adjusted between the values observed in soil vs IC for the chemical and physical soil. Tests were performed Spearman correlation between the following physical and chemical properties: pH, P, OM, te% clay soils to the fragments of candeia and soils of the external walls of the termites. The figures show that the relative increase in clay soil with less than 15%, the capability of selecting the final particles is greater by termites. The outer walls of the nests differ environment of its surroundings by higher accumulation of organic matter and nutrients, and this accumulation more evident for Ca and Mg. Organic matter is primarily responsible for the relative increase of nutrients in mounds.

Keywords: candeia, *Eremanthus sp.*, termites, nutrient cycling

1. INTRODUÇÃO

Os cupins são insetos sociais da ordem Isoptera, com cerca de 2.750 espécies conhecidas mundialmente (Constantino, 2005). Estes insetos constroem ninhos subterrâneos, superficiais ou arbóreos e são adaptados a condições ambientais diversas, sendo sua ocorrência registrada desde as florestas úmidas às savanas, além de regiões áridas (Lee e Wood, 1971; Eggleton et al., 1995). Lee e Wood (1971) apontam que o único fator limitante para a presença dos térmitas nos ambientes é a baixa temperatura.

Os cupins são considerados de fundamental importância em ambientes tropicais, sendo denominados engenheiros do ecossistema (Jones, et al, 1994). Definem-se como engenheiros de ecossistema os organismos que modificam o ambiente em que vivem, seja por meio de mudanças químicas ou físicas, influenciando a disponibilidade de recursos para outros organismos (Dangerfield, Mccarthy e Ellery, 1998).

Cupins de solo selecionam material organomineral ao construírem seus montículos, modificando as propriedades do solo e geralmente resultando em maiores teores de matéria orgânica, nutrientes e argila que os solos adjacentes (Howse, 1970; Holt, Coventry e Sinclair, 1980; Dangerfield, Mccarthy e Ellery, 1998; Konaté et al. 1999; Sarcinelli et al., 2010; Ferreira et al., 2011). Além disso, eles contribuem para o aumento da porosidade e aeração do solo com a construção dos montículos e os sistemas de túneis subterrâneos (Lee e Wood, 1971; Wood e Sands, 1978).

Provavelmente, a concentração de material argiloso nos montículos se deve à preferência dos cupins em utilizarem partículas finas dos solos como material cimentante de seus ninhos (Dangerfield, 1991; Donovan, Eggleton e Bignell, 2001). Os montículos tendem a ter maiores quantidades de nutrientes trazidos das camadas mais profundas do solo próximas ao lençol freático e maiores teores de matéria orgânica decorrentes do acúmulo de material vegetal e incorporação de pelotas fecais e bucais utilizadas na cimentação das paredes dos montículos (Howse, 1970; Castro Júnior, 2002).

Salienta-se que enquanto a colônia de térmitas estiver ativa, os nutrientes armazenados em suas paredes encontram-se inacessíveis para as plantas, ficando disponíveis apenas após a morte da colônia, com posterior processo erosivo atuante nos montículos (Coventry, Holt e Sinclair, 1988). Essa incorporação é diretamente dependente do tempo de duração da colônia (anos) e do tempo de resistência do montículo à erosão (Coventry, Holt e Sinclair, 1988).

As áreas onde são encontrados fragmentos de candeia (*Eremanthus* sp.) são caracterizadas pela presença de solos rasos e pouco férteis e pelo terreno montanhoso

(Scolforo et al, 2002). Os povoamentos são monodominantes (Scolforo et al., 2002. É muito comum o registro de grandes candeiais em áreas onde seria difícil o desenvolvimento de outras espécies (Pérez et al., 2004).

Existem estudos acerca do papel dos térmitas na ciclagem de nutrientes e na melhoria das propriedades físicas e químicas dos solos, mas não há registros de trabalhos que tratam do papel destes insetos em áreas monodominadas por candeia. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a ciclagem de nutrientes em montículos sobre diferentes substratos do Quadrilátero Ferrífero, em sistemas florestais monodominantes de candeia. Os objetivos específicos são determinar as propriedades químicas e físicas do solo e das paredes externas dos cupinzeiros existentes na área monodominada por candeia e correlacionar as características dos solos dos fragmentos e das paredes externas dos cupinzeiros.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está inserida no município de Mariana (MG), localizado na região central do estado de Minas Gerais, nos domínios do Quadrilátero Ferrífero. Geograficamente, o município encontra-se entre os meridianos 43° 05'00'' e 43° 30'00''W e os paralelos 20°08'00'' e 20° 35'00''S (IBGE, 2010), tendo uma área de 1.194,207 km² (Figura 1).

De acordo com a classificação de Köppen, predomina no município o clima tipo Cwa, clima úmido e verão quente, com estação seca curta e temperaturas médias na faixa de 19,5 a 21,8 °C. Devido a suas características geológicas, geomorfológicas e climáticas, o município apresenta uma diversidade de ecossistemas, como Campo Rupestre, Floresta Tropical Subcaducifólia e áreas monodominadas por candeia (*Eremanthus* sp.). A presença de áreas em regeneração, de mineração, de pastagens e de plantios de eucalipto refletem a presença humana na paisagem.

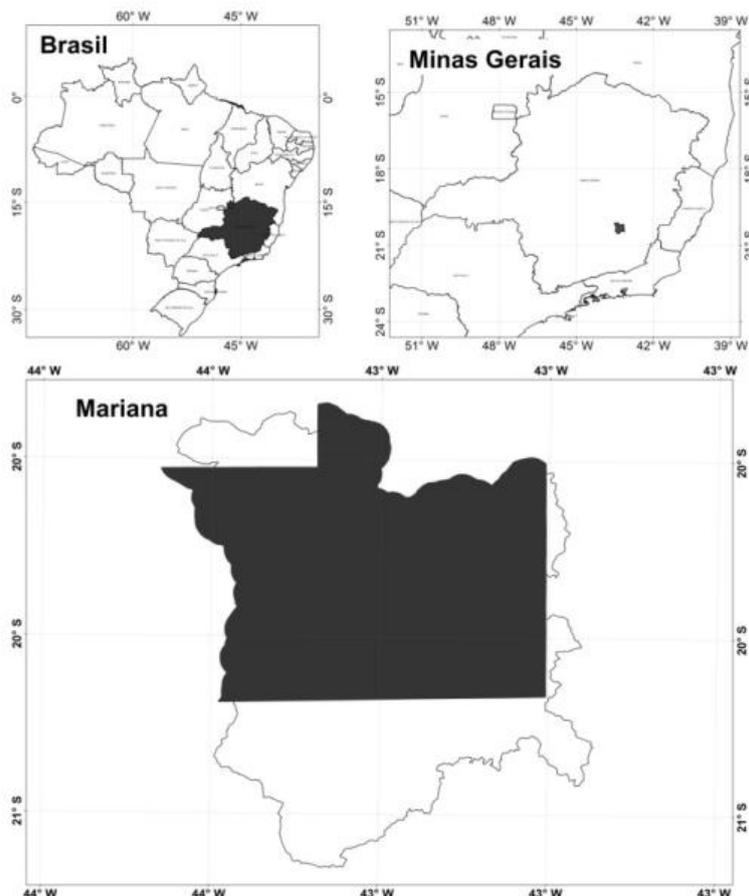


Figura 1 - Localização do município de Mariana (MG).

Figure 1 - Located of the municipality of Mariana (MG)

2.1.1. Aspectos geológicos e pedológicos

A área de estudo se encontra em uma região de contato geológico bem definida, que distingue duas grandes regiões dentro de seus limites. A porção oeste é marcada pela presença de rochas do Quadrilátero Ferrífero (QF). A porção centro-leste e leste estão condicionados a existência de rochas do embasamento cristalino.

O contexto estratigráfico do QF está representado por três grandes conjuntos de rochas: complexos metamórficos de rochas cristalinas arqueanas; sequências do tipo *greenstone belt* arqueana representadas pelo Supergrupo Rio das Velhas e sequências metassedimentares paleo e mesoproterozóicas representadas pelo Supergrupo Minas, Grupo Sabará, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço (CPRM, 1993).

A área abrangida pelas unidades de rochas do embasamento cristalino é originada no neoarqueano, sendo representada pelos Complexos Mantiqueira e Santa Bárbara. O Complexo Mantiqueira é constituído por ortognaisses, quartzo dioritos e anfibolitos. Já o Complexo Santa Bárbara apresenta em sua constituição granitos, granitóides, granodioritos, gnaisses e tonalitos (CPRM, 1993).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos constituem a classe com maior representatividade na área de estudo (49,36%). Estes são solos bastante desenvolvidos, com textura predominantemente argilosa, distróficos e que estão presentes em áreas onde o relevo varia de ondulado a montanhoso. Os Cambissolos Háplicos também ocupam uma extensa área (37,97%). Estes por sua vez são solos menos desenvolvidos, geralmente rasos, distróficos e presentes em áreas de relevo forte ondulado e montanhoso. Ainda ocorrem na área Neossolos Flúvicos (2,34%), Cambissolos Háplicos (2,22 %), Latossolos Vermelhos Distroféricos (1,56%), Neossolos Litólicos (0,37%), afloramentos rochosos (0,22%) e Argissolos Vermelho-Amarelos (0,10%) (Fernandes Filho et al., 2011), sendo que os fragmentos de candeia encontram-se, de modo geral, instalados sobre Afloramentos Rochosos, Neossolos Litólicos e Cambissolos.

2.2. Amostragem de solos superficiais e de montículo

Considerando diferenças geográficas e facilidade de acesso, foram selecionadas dezessete áreas de ocorrência natural de candeia. Foi coletada uma amostra composta de solo superficial (0-10 cm de profundidade) e três amostras da parede externa de montículos de cupins em cada uma das áreas.

Os materiais coletados foram secos ao ar, destorroados e passados por peneira de malha de 2 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetido a análises físicas e químicas de rotina. A análise granulométrica foi feita conforme EMBRAPA (1997) modificada por Ruiz (2005a, b), onde 10 g de TFSA foram dispersas com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitada com 50 rpm durante 16 horas. Posteriormente, frações areia grossa e fina foram separadas por tamisação em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0, 053 mm de abertura, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e a fração silte calculada por diferença. As análises químicas foram realizadas conforme EMBRAPA (1997). O pH foi determinado em água (relação solo:solução 1:2,5).

Foram determinadas as concentrações de fósforo, sódio e potássio trocáveis (Extrator Mehlich-1); cálcio, magnésio e alumínio trocável (KCl 1 mol L⁻¹ na relação 1:10); H + Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ na relação 1:10 e pH 7,0); e carbono orgânico (método de Walkley-Black). A concentração do fósforo remanescente foi determinada após agitar 5 cm³ de solo com 50 mL de solução de 10 mmol L⁻¹ de CaCl₂, contendo 60 mg L⁻¹ de P, durante uma hora (Alvarez, et al, 2000). Foi calculada a soma de bases (SB = Ca + Mg + K); as capacidades de troca catiônica total (T = SB + Al + H) e efetiva (t = SB + Al); a saturação por bases (V = 100 SB/T) e a saturação por alumínio (m = 100 Al/t).

2.3. Análises estatísticas

De acordo com o teor de argila dos solos das parcelas, as amostras dos solos e das paredes externas dos cupinzeiros foram separadas em dois grupos. Considerando que solos com até 15% de argila são excessivamente arenosos e com baixa capacidade de retenção de nutrientes, o primeiro grupo foi formado por solos com menos de 15% de argila e o segundo com teor superior a 15%.

Os atributos físicos e químicos dos solos das parcelas e dos montículos de cada um dos fragmentos foram comparados entre si aplicando o teste estatístico t ($p = 95\%$).

Para cada montículo amostrado foi calculado o incremento relativo dos atributos físicos e químicos avaliados em relação ao solo adjacente. O incremento relativo (IC) é dado por:

$$IC = (\text{teor no montículo} - \text{teor no solo}) / \text{teor no solo}$$

Após o cálculo do IC foi ajustada equação de regressão entre os valores observados no solo vs IC, para os atributos químicos e físicos do solo. Os coeficientes de regressão foram submetidos a teste de significância ($p=95\%$).

Foram realizados testes de correlação de Spearman (Siegel, 1975) entre as seguintes propriedades físicas e químicas: pH, P, MO, t e % de argila para os solos dos fragmentos de candeia e o solo das paredes externas dos cupins.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos atributos físicos e químicos avaliados nos solos superficiais e nas paredes externas dos montículos são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Os solos da área de estudo são oligotróficos, com a saturação por bases não ultrapassando 5,5 % e pH abaixo de 5,0. Esta pobreza em nutrientes nos solos deve-se tanto ao material de origem, predominantemente quartzito e canga, e a baixa CTC que favorece às perdas de bases por lixiviação.

Os solos também apresentam teores de matéria orgânica variando de baixo a médio (Alvarez et al., 1999), sendo exceção o solo das parcelas P16 e P11 que apresentaram altos teores (respectivamente, 10,72 e 10,01 dag/kg). Possivelmente, estes valores se devem à interação entre matéria orgânica e argila que preserva os compostos orgânicos da

biodegradação (Canellas, et al, 2008), já que P16 e P11 apresentam teores de argila mais elevados quando comparados aos demais solos.

Os teores de K são elevados tanto nos solos sob os candeiais como nos cupinzeiros. Isto, possivelmente, pode ser explicado pela presença de muscovita na composição mineralógica do substrato geológico da área de estudo, conforme observado por Soeltl (2009) em estudo realizado em área próxima e de litologia semelhante.

No tocante à textura, a maioria dos solos tem predomínio da fração areia, sendo exceção o solo da parcela P16, que apresenta textura argilosa. Nas parcelas P2, P4, P5, P6, P8 e P9 existe predominância de areia fina, e nas demais da areia grossa.

O pH dos montículos (Tabela 1) não ultrapassa 6,0, o que os caracteriza como ácidos (Alvarez, et al, 1999). Há concentração de nutrientes (P, K, Ca e Mg), matéria orgânica, silte e argila nos cupinzeiros, em concordância com o apontado pela literatura (Howse, 1970; Holt, Coventry e Sinclair, 1980; Dangerfield, Mccarthy e Ellery, 1998; Konaté et al., 1999; Ferreira et al., 2011; Sarcinelli et al., 2010) (Tabela 1). Essa concentração é mais evidente nos solos onde o caráter distrófico é mais pronunciado e com teor de argila inferior a 15%, como é o caso do solo das parcelas P1, P2, P3, P4, P5, P16, P7 e P8.

Os maiores teores de fósforo disponível nos cupinzeiros devem-se ao fato destes apresentarem mais matéria orgânica do que os solos superficiais. Isto se explica pelo fato das frações orgânicas do solo serem consideradas fonte deste nutriente, sendo estas mais importantes para a manutenção do P no ambiente conforme há o avanço do grau de intemperismo (Cross e Schlesing, 1995; Guerra, Almeida e Santos, 1996). Além disso, os ácidos orgânicos retardam a adsorção de P pelos óxidos de Fe e Al e pela superfície das argilas (Hedley, Hussin e Bolan, 1990; Novais, Neves e Barros, 1991).

O teor de matéria orgânica (MO) dos montículos é alto (Alvarez, et al, 1999) (Tabela 1). Isto se deve à capacidade dos térmitas acumularem materiais vegetais e pelotas fecais e bucais utilizados na cimentação das paredes dos montículos (Howse, 1970; Castro Júnior, 2002), influenciando principalmente na ciclagem de C e N (Lee e Wood, 1971).

O maior acúmulo de MO nos montículos faz com que estes apresentem maior CTC em decorrência da presença de cargas nas superfícies dos ácidos orgânicos, variando de 400 a 1400 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Canellas et al., 2008). No entanto, alguns autores afirmam que a contribuição da MO não deve ser considerada aditiva, visto que alguns de seus sítios reativos encontram-se bloqueados por cátions polivalentes, pela influência dos minerais ou por conta de trocas inter e intramoleculares (Canellas et al., 2008; Theng, Tate e Sollins, 1989). A maior

CTC também se deve ao fato dos montículos apresentarem maior teor de argila do que os solos de seu entorno, que predominantemente apresentam baixos teores de argila.

Houve diferença significativa entre a maioria dos atributos físicos e químicos dos solos superficiais e de montículos, conforme pode ser observado na Tabela 2. Foi detectado uma diminuição das frações areia grossa e areia fina nos montículos em relação aos solos adjacentes. Este fato é decorrente da capacidade dos térmitas acumularem em seus montículos as frações mais finas do solo (Dangerfield, 1991; Donovan, Eggleton e Bignell, 2001; Lee e Wood, 1971).

Os valores de incremento relativo (IC) mostram que solos mais oligotróficos e com menos de 15% de argila, como os encontrados nas parcelas P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8, estão associados, no geral, a montículos com maiores valores de IC (Tabela 3).

Para os atributos pH, Al e m, o IC é baixo, sendo inferior a 1,00 ou até mesmo negativo, demonstrando que os valores encontrados nos montículos diferem pouco ou são menores que os encontrados nos solos adjacentes. No tocante ao IC de pH, Lee e Wood (1971) encontraram resultado semelhante em seu estudo acerca da influência dos térmitas nas propriedades físicas e químicas dos solos. Lavelle et al. (1997) apontam que a incorporação das fezes dos cupins ao solo dos montículos diminuem o pH dos mesmos.

O baixo IC de Al pode ser explicado pela complexação desse pela matéria orgânica, mais abundante nos montículos. Mendonça e Rowell (1994) apontam que, em solos ácidos, fração significativa do Al encontra-se associado à fração orgânica do solo. Dessa forma, o Al ligado à MO passa a exercer papel fundamental no tamponamento do solo, bem como contribuir para a maior estabilidade da MO do solo (Canellas, et al, 2008).

O IC é alto para os nutrientes P ($IC_{Max}=7,36$), Ca ($IC_{Max}= 29,11$) e Mg, chegando a 43,3 vezes para Mg. O IC de K foi baixo, o que pode ser explicado pelos valores, em geral, elevados de K no solo.

O ajuste do modelo de regressão para o IC foi significativo estatisticamente para K ($p=0,00023$), Ca ($p=0,00$), Mg ($p=0,00011$), H+Al ($p=0,00066$), CTC total ($p=0,00$), CTC efetiva ($p=0,00001$), SB ($p=0,00$), V ($p=0,00003$), MO ($p=0,00$), P-rem ($p=0,00179$) e argila ($p=0,00090$) (Figura 2).

O IC de P apresenta baixa correlação com o IC dos demais nutrientes, sendo que o modelo de regressão ajustado relacionando o IC de P e de MO foi significativo estatisticamente ($p=0,03023$) (Figura 3a).

O IC da SB nos montículos é controlado pelo IC de MO, fato comprovado pela correlação significativa existente entre os mesmos ($p= 0,00184$) (Figura 3b). Lee e Wood

(1971) encontraram a mesma relação, mas não souberam precisar a correlação existente. O teor de MO nos montículos contribui para o aumento da disponibilidade dos cátions metálicos Ca e Mg através da adsorção não específica (Canellas et al., 2008).

O IC de CTC total apresenta correlação significativa com a matéria orgânica ($p=0,00$) (Figura 3c), demonstrando que a CTC é decorrente da matéria orgânica, à semelhança do que foi constatado por Sarcinelli (2010), que obteve correlação positiva entre CTC e carbono orgânico nos solos pobres e arenosos das Mussunungas do extremo sul do estado da Bahia. Bayer e Mielniczuk (2008) afirmam que em solos muito intemperizados, como os tropicais e subtropicais, a CTC da matéria orgânica pode ser responsável por parte considerável da CTC total do solo, sendo vital para a retenção de nutrientes e diminuição da lixiviação.

O IC de P-rem apresentou correlação significativa com o IC de argila ($p=0,01018$) (Figura 3d). Schaefer (2001) afirma que a biodisponibilidade de P aumenta nos montículos devido à solubilização das formas de P ligadas aos óxidos de Fe e Al. Tal fato se deve às alterações sofridas pelas partículas de solo no trato intestinal por conta do pH altamente alcalino, atingindo valores de até 12 (Ohkuma, 2003).

Tabela 1 - Caracterização física e química do solo das parcelas e dos montículos.

Table 1 - Physical and chemical characterization of soil parcels and mounds.

Amostra	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	M	MO	P_rem	AG	AF	Sil	Argila	Geologia ²	
	H ₂ O	mg/dm ³			cmol/dm ³						%		dag/kg	mg/l	dag/kg					
Solos com < 15% de Argila	P1	4,32	2,5	41	0,58	0,07	1,1	13	0,75	1,85	13,75	5,5	59,5	4,66	29,3	44	33	16	7	Canga
	P2	4,38	0,9	41	0,16	0,02	1,2	6,8	0,28	1,48	7,08	4	81,1	2,9	48,7	40	44	8	8	Xisto
	P3	4,48	1,2	36	0,33	0,05	1,3	11,4	0,47	1,77	11,87	4	73,4	5,99	31,6	48	37	6	9	Canga
	P4	4,75	2,3	64	0,12	0,04	1,4	6,3	0,32	1,72	6,62	4,8	81,4	2,13	30,6	33	47	8	12	Quartzito
	P5	4,7	0,6	44	0,07	0,01	1,8	6,8	0,19	1,99	6,99	2,7	90,5	2,39	25,7	33	42	12	13	Quartzito
	P6	4,79	1,2	39	0,06	0,01	1,2	4,8	0,17	1,37	4,97	3,4	87,6	1,46	32,6	29	46	11	14	Quartzito
	P7	4,45	4,5	53	0,09	0,02	1,9	8,8	0,25	2,15	9,05	2,8	88,4	4,52	32,4	61	20	5	14	Quartzito
	P8	4,87	1,3	50	0,14	0,05	1,7	7,3	0,32	2,02	7,62	4,2	84,2	2,93	20	30	48	7	15	Quartzito
Solos com > 15% de Argila	P9	4,42	1,4	72	0,24	0,05	2,7	12,2	0,47	3,17	12,67	3,7	85,2	5,45	28,3	24	45	15	16	Xisto
	P10	4,93	1,5	40	0,11	0,01	1,1	9,2	0,22	1,32	9,42	2,3	83,3	2,77	21,2	52	28	4	16	Cascalho
	P11	4,46	5,8	72	0,4	0,05	2,19	14,3	0,63	2,82	14,93	4,2	77,7	10,01	29,8	64	12	5	19	Quartzito
	P12	4,84	1,4	21	0,07	0,01	0,6	9,2	0,13	0,73	9,33	1,4	82,2	4,35	12,6	46	25	4	25	Cascalho
	P13	4,94	2,8	57	0,14	0,03	1,7	11,9	0,32	2,02	12,22	2,6	84,2	4,94	14,6	46	22	5	27	Cascalho
	P14	4,79	0,7	56	0,14	0,07	1,4	8,4	0,35	1,75	8,75	4	80	4,12	21	31	21	12	36	Xisto
	P15	4,82	0,7	67	0,06	0,02	1,3	8,9	0,25	1,55	9,15	2,7	83,9	4,61	16,4	29	22	8	41	Xisto
	P16	4,84	2,4	76	0,32	0,1	2,76	16,5	0,61	3,37	17,11	3,6	81,9	10,72	11,9	21	12	20	47	Canga

P= solo das parcelas; ² CPRM (1993); pH em água (relação 1:2,5.); P - Na - K (Extrator Mehlich-1); Ca -Mg -Al (Extrator: KCl - 1mol/L); H + Al (Extrator: Acetato de Cálcio 0,5mol/L - pH 7,0); SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação de Bases; m= Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem= Fósforo Remanescente; AG= areia grossa; AF=areia fina; sil=silte.

Tabela 2 - Caracterização física e química do solo dos montículos.

Table 2 - Physical and chemical characterization of soil mounds.

	Amostra	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	M	MO	P _{rem}	AG	AF	Sil	Argila	Geologia ²
		H ₂ O	mg/dm ³			cmol/dm ³						%		dag/kg	dag/kg			mg/l		
Solos com < 15% de Argila	C1 ¹	4,50*	3,63*	40,00*	1,01*	0,24*	2,35*	23,53*	1,35*	3,70*	24,88*	5,67*	62,63*	7,96*	30,47*	41,67*	17,67*	18,00*	22,67*	Canga
	C2 ¹	4,04*	6,53*	91,67*	1,02*	0,24*	1,56*	15,17*	1,49*	3,05*	16,66*	8,40*	54,37*	16,69*	59,03*	40,67*	34,33*	14,33*	10,67*	Xisto
	C3 ¹	4,86*	9,37*	74,33*	2,08*	0,28*	1,46*	25,17*	2,55*	4,01*	27,71*	9,17*	38,10*	24,65*	31,30*	26,33*	32,00*	18,33*	23,33*	Canga
	C4 ¹	5,02*	7,87*	169,67*	1,37*	0,45*	0,93*	13,63*	2,25*	3,18*	15,88*	14,60*	28,47*	15,63*	37,43*	20,00*	40,33*	10,33*	29,33*	Quartzito
	C5 ¹	4,96*	4,23*	136,33*	1,32*	0,37*	1,59*	16,37*	2,04*	3,62*	18,40*	11,13*	44,83*	19,75*	39,27*	21,67*	42,00*	16,00*	20,33*	Quartzito
	C6 ¹	4,73*	4,60*	146,33*	1,81*	0,43*	1,23*	17,50*	2,62*	3,85*	20,08*	12,97*	33,00*	21,61*	35,30*	25,00*	36,00*	13,33*	25,67*	Quartzito
	C7 ¹	4,38*	18,23*	106,33*	0,39*	0,14*	2,92*	14,77*	0,80*	3,72*	15,57*	5,07*	78,13*	10,87*	29,27*	40,33*	16,00*	11,33*	32,33*	Quartzito
	C8 ¹	4,74*	3,73*	139,67*	2,22*	0,61*	1,59*	19,17*	3,19*	4,78*	22,35*	15,47*	30,43*	21,20*	35,17*	33,00*	27,33*	14,33*	25,33*	Quartzito
Solos com > 15% de Argila	C9 ¹	4,36*	4,80*	115,67*	0,76*	0,22*	2,19*	16,73*	1,28*	3,47*	18,01*	7,27*	62,53*	13,79*	37,00*	22,00*	42,00*	15,67*	20,33*	Xisto
	C10 ¹	4,21*	2,60*	26,67*	0,91*	0,14*	0,96*	12,60*	1,12*	2,08*	13,72*	8,77*	45,83*	7,66*	27,97*	46,00*	21,67*	9,67*	22,67*	Cascalho
	C11 ¹	4,74*	7,30*	157,33*	2,08*	0,43*	1,46*	18,40*	2,91*	4,37*	21,31*	13,70*	33,43*	19,81*	38,53*	43,00*	16,33*	12,67*	28,00*	Quartzito
	C12 ¹	5,13*	11,70*	149,33*	1,99*	0,44*	0,97*	18,00*	2,82*	3,78*	20,82*	13,60*	25,30*	25,46*	30,83*	38,00*	25,33*	10,33*	26,33*	Cascalho
	C13 ¹	5,27*	8,30*	120,00*	0,36*	0,12*	1,97*	15,50*	0,79*	2,76*	16,29*	7,57*	58,03*	9,91*	20,13*	30,33*	18,00*	8,00*	43,67*	Cascalho
	C14 ¹	4,79*	1,23*	113,33*	0,84*	0,38*	1,43*	11,77*	1,51*	2,93*	13,27*	12,17*	46,10*	8,87*	32,00*	23,00*	16,00*	15,00*	46,00*	Xisto
	C15 ¹	5,11*	1,50*	150,67*	1,45*	0,69*	0,89*	13,03*	2,53*	3,41*	15,56*	17,20*	25,37*	12,94*	31,07*	21,00*	18,00*	12,67*	48,33*	Xisto
	C16 ¹	4,89*	10,93*	151,00*	0,85*	0,23*	2,00*	21,00*	1,46*	3,47*	22,46*	6,10*	59,37*	17,26*	17,47*	30,00*	15,33*	18,67*	36,00*	Canga

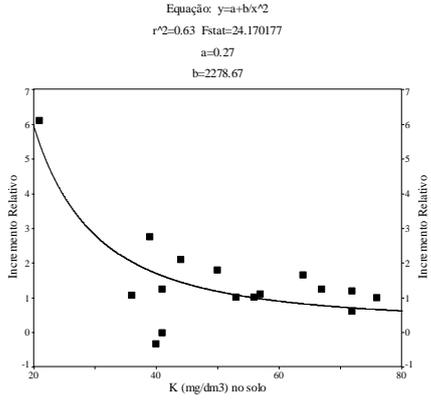
¹Média da parede externa dos três montículos coletado; ² CPRM (1993); * indica significância estatística a 95% de probabilidade pelo teste t; C=solo da parede externa do cupinzeiro; pH em água (relação 1:2,5.); P - Na - K (Extrator Mehlich-1); Ca -Mg -Al (Extrator: KCl - 1mol/L); H + Al (Extrator: Acetato de Cálcio 0,5mol/L - pH 7,0); SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação de Bases; m= Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem= Fósforo Remanescente; AG= areia grossa; AF=areia fina; sil=silte.

Tabela 3 – Incremento Relativo (IC).**Table 3 – Relative Increment (IC).**

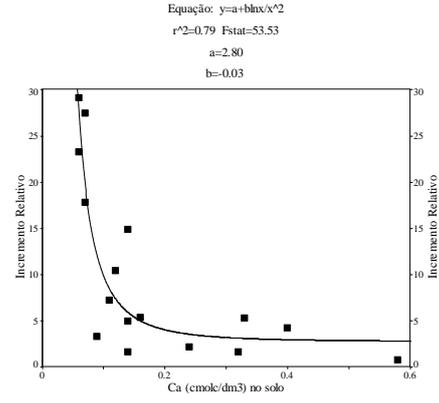
	Amostra	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	M	MO	P_rem	AG	AF	Sil	Argila
Solos com < 15% de Argila	IC1	0,04	0,45	-0,02	0,74	2,43	1,14	0,81	0,80	1,00	0,81	0,03	0,05	0,71	0,04	-0,05	-0,46	0,13	2,24
	IC2	-0,08	6,26	1,24	5,35	11,17	0,30	1,23	4,33	1,06	1,35	1,10	-0,33	4,75	0,21	0,02	-0,22	0,79	0,33
	IC3	0,08	6,81	1,06	5,30	4,60	0,12	1,21	4,42	1,26	1,33	1,29	-0,48	3,11	-0,01	-0,45	-0,14	2,06	1,59
	IC4	0,06	2,42	1,65	10,39	10,25	-0,33	1,16	6,03	0,85	1,40	2,04	-0,65	6,34	0,22	-0,39	-0,14	0,29	1,44
	IC5	0,05	6,06	2,10	17,81	36,00	-0,12	1,41	9,72	0,82	1,63	3,12	-0,50	7,26	0,53	-0,34	0,00	0,33	0,56
	IC6	-0,01	2,83	2,75	29,11	42,33	0,03	2,65	14,39	1,81	3,04	2,81	-0,62	13,80	0,08	-0,14	-0,22	0,21	0,83
	IC7	-0,02	3,05	1,01	3,30	6,17	0,54	0,68	2,21	0,73	0,72	0,81	-0,12	1,41	-0,10	-0,34	-0,20	1,27	1,31
	IC8	-0,03	1,87	1,79	14,86	11,20	-0,06	1,63	8,96	1,36	1,93	2,68	-0,64	6,23	0,76	0,10	-0,43	1,05	0,69
Solos com > 15% de Argila	IC9	-0,01	2,43	0,61	2,18	3,33	-0,19	0,37	1,72	0,09	0,42	0,96	-0,27	1,53	0,31	-0,08	-0,07	0,04	0,27
	IC10	-0,15	0,73	-0,33	7,24	13,33	-0,12	0,37	4,08	0,58	0,46	2,81	-0,45	1,77	0,32	-0,12	-0,23	1,42	0,42
	IC11	0,06	0,26	1,19	4,20	7,67	-0,33	0,29	3,62	0,55	0,43	2,26	-0,57	0,98	0,29	-0,33	0,36	1,53	0,47
	IC12	0,06	7,36	6,11	27,43	43,33	0,61	0,96	20,67	4,18	1,23	8,71	-0,69	4,85	1,45	-0,17	0,01	1,58	0,05
	IC13	0,07	1,96	1,11	1,60	3,00	0,16	0,30	1,48	0,37	0,33	1,91	-0,31	1,01	0,38	-0,34	-0,18	0,60	0,62
	IC14	0,00	0,76	1,02	4,98	4,38	0,02	0,40	3,30	0,68	0,52	2,04	-0,42	1,15	0,52	-0,26	-0,24	0,25	0,28
	IC15	0,06	1,14	1,25	23,22	33,50	-0,32	0,46	9,11	1,20	0,70	5,37	-0,70	1,81	0,89	-0,28	-0,18	0,58	0,18
	IC16	0,01	3,56	0,99	1,65	1,30	-0,27	0,27	1,40	0,03	0,31	0,69	-0,28	0,61	0,47	0,43	0,28	-0,07	-0,23

IC= Incremento Relativo; pH em água (relação 1:2,5.); P - Na - K (Extrator Mehlich-1); Ca -Mg -Al (Extrator: KCl - 1 mol/L); H + Al (Extrator: Acetato de Cálcio 0,5mol/L - pH 7,0); SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação de Bases; m= Índice de Saturação de Alumínio; Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem= Fósforo Remanescente; AG= areia grossa; AF=areia fina; sil=silte.

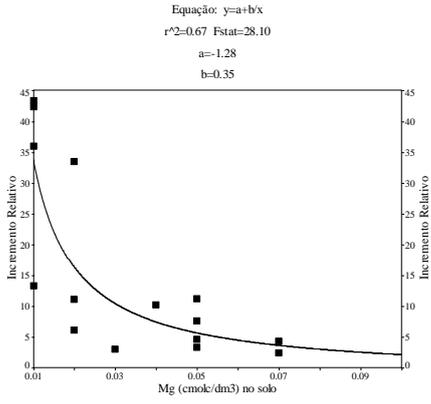
a



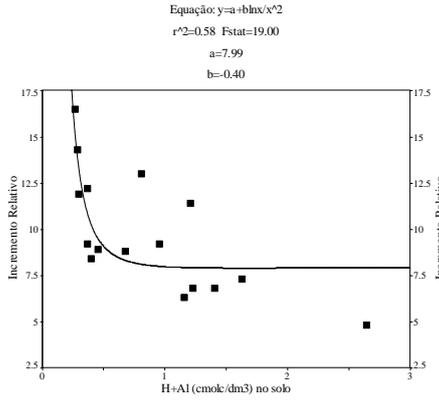
b



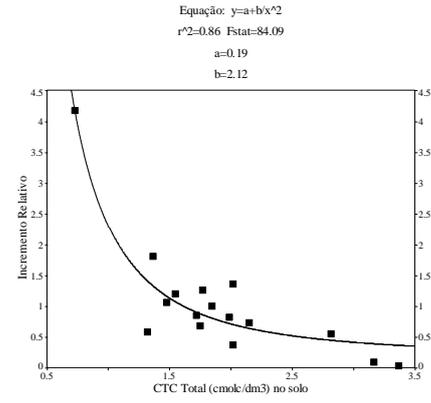
c



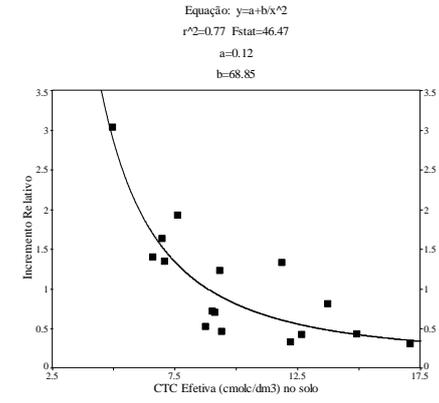
d



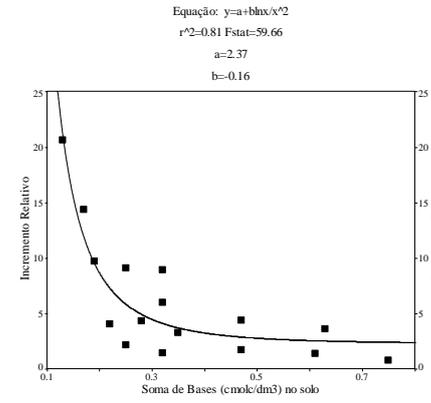
e



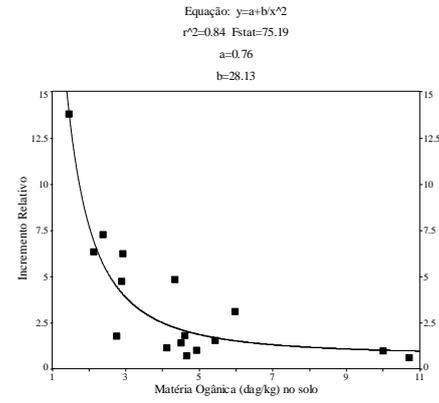
f



g



h



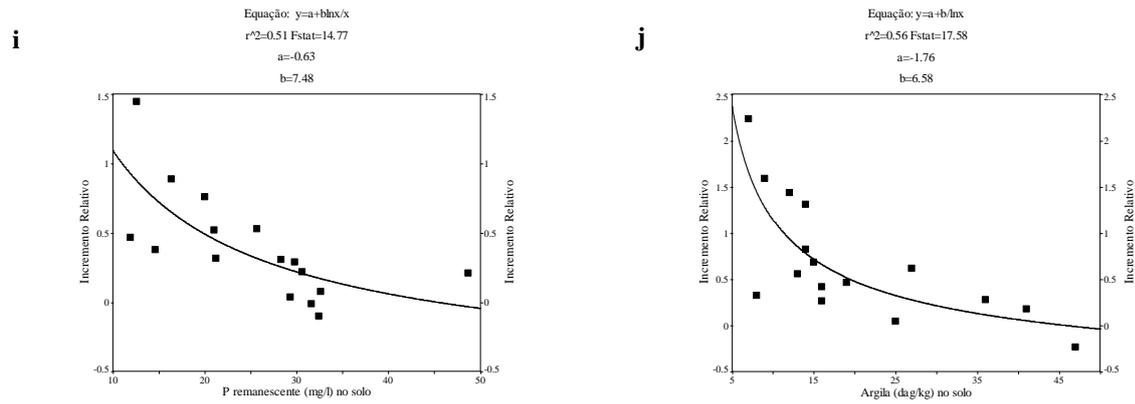


Figura 8 - Incremento relativo de atributos do solo nas paredes externas dos cupinzeiros, com relação aos solos adjacentes: (a) K; (b) Ca; (c) Mg; (d) H+Al; (e) CTC total; (f) CTC efetiva; (g) V; (h) MO; (i) P_{rem}; (j) argila.

Figure 2 - Increase of soil on the exterior walls of the nests with respect to adjacent soil: (a) K, (b) Ca (c) Mg, (d) H + Al (e) total CEC, (f) CTC effective, (g) V, (h) MO, (i) P_{rem}, (j) clay.

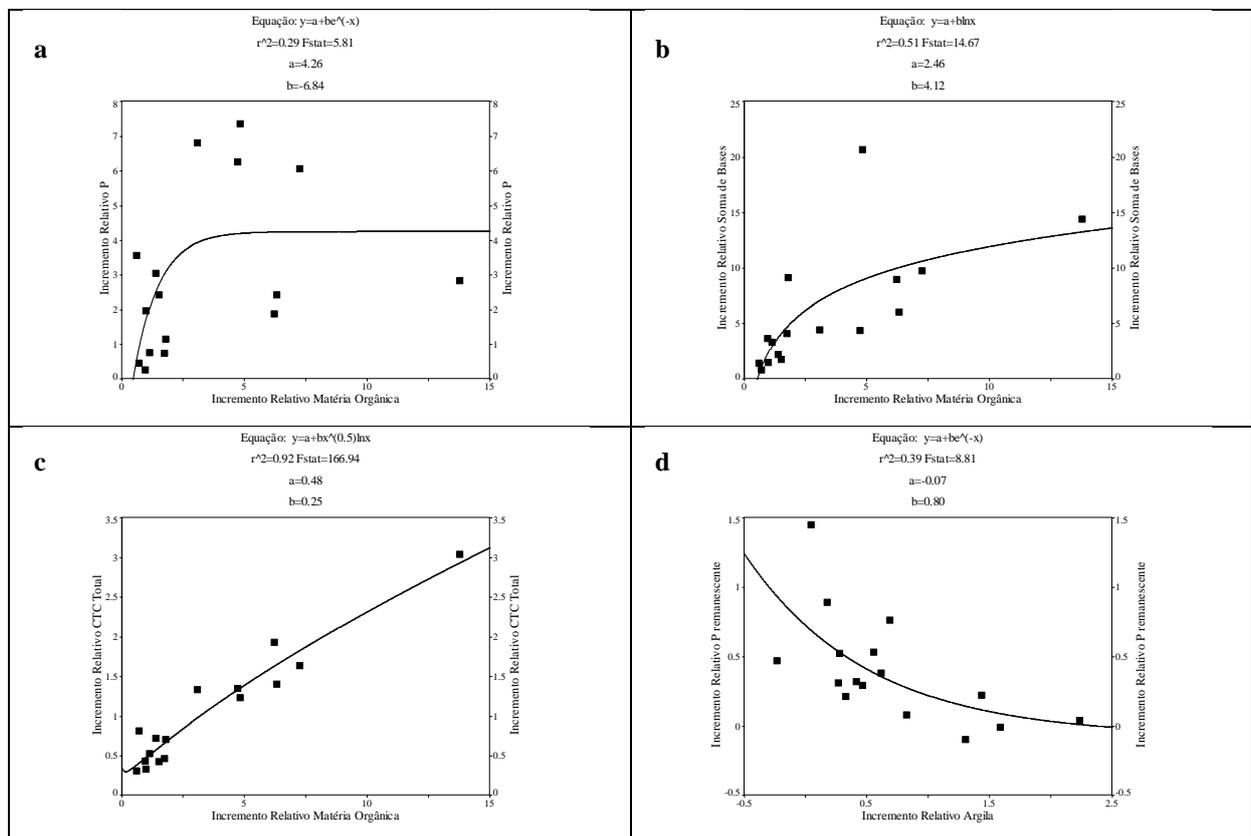


Figura 9 - Correlação existente entre os incrementos relativos: (a) P vs MO; (b) SB vs MO; (c) T vs MO; (d) Argila vs P remanescente.

Figure 3 - Correlation between the increments for: (a) P vs MO (b) SB vs MO (c) T vs. MO (d) P remaining vs clay.

4. CONCLUSÕES

Os valores de incremento relativo médio (IC) mostram que em solos com teores de argila menores que 15%, a capacidade de seleção de partículas finais pelos térmitas é maior.

As paredes externas dos cupinzeiros se diferenciam do ambiente de seu entorno pelo maior acúmulo de matéria orgânica e nutrientes, sendo este acúmulo mais evidente para Ca, Mg e P.

A matéria orgânica contribui efetivamente para a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) total e efetiva dos solos dos montículos, sendo a principal responsável pelo incremento relativo de nutrientes nos montículos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V. V.H.; et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. IN: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V.H. (eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.25-32.
- ALVAREZ, V.V.H.; et al.. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da SBCS, n,25, p.27-32, 2000.
- ANDERSON, J.M.; WOOD, T.G. Mound composition and soil modification by two soil feeding termites (Termitinae, Termitidae) in a riparian Nigerian forest. *Pedobiologia*, n, 26, p.77-82, 1984.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, et al (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*, Porto Alegre: Metrópole, 2008, p, 7-18.
- CANELLAS, L, P, et al. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, et al (eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p, 45-63.
- CASTRO JÚNIOR, P.R. Dinâmica da água em campos de Murundus do planalto dos Parecis. 2002. 193f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, SP.
- CONSTANTINO, R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.O. et al. (Eds.). *Biodiversidade, ecologia, e conservação do cerrado*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.319- 333.

COVENTRY, R.J.; HOLT, J.A.; SINCLAIR, D.F. Nutrient cycling by mound-building termites in low-fertility soils of semi-arid tropical Australia. *Australian Journal of Soil Research*, n,26, p,375-390, 1988.

CPRM. Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orisvaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM, 1993.

CROSS, A.F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, Amsterdam, v,64, n, 314, p, 197-214, 1995.

DANGERFIELD, J.M. Soil modification by *Cubitermes sankurensis* (Wassman) (Isoptera: Termitidae) within a Miombo woodland site in Zimbabwe. *African Journal of Ecology*, n,29, p,267-269, 1991.

DANGERFIELD, J.M.; MCCARTHY, T.S.; ELLERY, W.N. The mound-building termite *Macrotermes michaelseni* as an ecosystem engineer. *Journal of Tropical Ecology*, n,14, p, 507-520, 1998,

DONOVAN, S.E.; EGGLETON, P.; BIGNELL, D.E. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites. *Ecological Entomology*, n,26, p,356-366, 2001.

EGGLETON, P., et al. The species richness (Isoptera) under differing levels of forest disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, southern Camerron. *Journal of Tropical Ecology*, v.11, p.85-98, 1995.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

FERNANDES FILHO, et al. Levantamento de Solos e Aptidão Agrícola do Município de Mariana, 2011 (Relatório Técnico).

FERREIRA, E. V. de O.; et al. Ação dos térmitas no solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41, n.05, p.804-811, 2011.

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A. Conteúdo de fosforo orgânico em amostras de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v,31, n,4, p,291-299, 1996.

HEDLEY, M.J.; HUSSIN, A.; BOLAN, M.S. New approaches to phosphorus fertilization. In: Symposium of Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania, 1, 1990, Los Banos. *Proceedings...* Manila: IRRI, 1990. p.125-142.

HOLT, J.A.; COVENTRY, R.J.; SINCLAIR, D.F. Some aspects of the biology and pedological significance of mound-building termites in a red and yellow earth landscape

near Charters Towers, North Queensland. Australian Journal of Soil Research, n,18, p, 97-109, 1980.

HOWSE, P.E. Termites: A Study in Social Behavior, Hutchinson Univ, Library, London, 1970.

KONATE, S.; et al. Influence of large termitaria on soil characteristics, soil water regime, and tree leaf shedding pattern in a west African savanna. Plant and Soil, n,206, p,47-60, 1999.

LAVELLE, P.; et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. Eur.. J. Soil Biol., v.33, n.4, p.159-193, 1997.

LEE, K.E.; WOOD, T.G. Termites and Soils. Academic Press, London and New York, 1971.

MENDONÇA, E.S.; ROWEL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja. R. Bras. Ciência do Solo, n. 18, p.295-303, 1994.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Aspectos físico-químicos envolvidos na fixação do fósforo no solo. In: Encontro Nacional de Rocha Fosfática, 5., 1991. São Paulo. *Anais...* São Paulo: 1991. p. 133-177.

OHKUMA, M. Termite symbiotic systems: efficient biorecycling of lignocellulose. Applied and Environmental Microbiology, v.61, p.1-9, 2003.

PÉREZ, J. F. M.; et al. Sistema de manejo para a candeia - *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish – a opção do sistema de corte seletivo. Cerne, Lavras, v. 10, n. 2, p. 257-273, jul./dez., 2004

RUIZ, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30., 2005, Recife, PE. *Anais...* Recife: UFRPE, SBCS, 2005a. 4 p. 1 CDROM.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 297-300, 2005b.

SARCINELLI, T, S, Muçunungas: Enclaves de vegetação arenícola na Floresta Atlântica de Tabuleiro, Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, 2010.

SCHAEFER, C.E.G.R. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. Australian Journal of Soil Resources, n,39, p,909-926, 2001.

- SCOLFORO, J.R.; et al., Manejo sustentado das candeias: *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeisch e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, 2002.
- SIEGEL, Sidney. Estatística Não-paramétrica Para as Ciências do Comportamento. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- THENG, B.K.G; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. IN: COLEMAN, D.C.; et al (eds.). Dynamic of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: NITAL Project, 1989. p. 5-32.
- WOOD, T.G. Termites and the soil environment. *Biology and Fertility of Soils*, n,6, p,228-236, 1988.
- WOOD, T.G.; SANDS, W.A. The role of termites in ecosystems, In: BRIAN, M. V. (ed.). *Production ecology of ants and termites*, Cambridge University Press, Cambridge, pp, 245-292, 1978.

CONCLUSÃO GERAL

De modo geral, as classificações obtidas a partir do algoritmo Maxver apresentam diferença significativa entre os kappas globais. Sendo estes superiores aos obtidos a partir do SVM pelo teste z a 95% de probabilidade.

O uso do índice de vegetação normalizada (NDVI) e o índice de vegetação normalizada adaptado (NDVI₍₃₄₎) promoveram melhora no kappa global, mas o incremento é mais significativo na classificação obtida a partir da combinação destes com as bandas do visível. A utilização das componentes principais não representou aumento significativo na acurácia das classificações, exceto para aquelas que só apresentavam bandas do visível.

O mapa temático produzido pela classificação supervisionada da combinação de bandas 345+PCA2 da imagem Rapideye, utilizando o algoritmo Maxver, atingiu índice kappa igual a 0,95 e kappa condicional para a classe candeia de 1,00. As informações extraídas do mapa temático permitem indicar que as áreas monodominadas por candeia (*Eremanthus sp.*) na região norte do município de Mariana ocupam uma área de aproximadamente 25.320,85 ha, equivalente a 29,76% dessa região.

Nas parcelas inventariadas há baixa diversidade, com conseqüente monodominância de candeia nos fragmentos florestais avaliados.

Os candeiais estão instalados nos solos com oligotrofismo marcante, onde a soma de base e a saturação de bases são notadamente baixas. Sendo que essas em conjunto com o número de indivíduos, permitiram agrupar os fragmentos avaliados em três grupos. Parcelas com maior número de indivíduos apresentaram soma de bases e saturação por bases muito baixas.

Os valores de incremento relativo médio (IC) mostram que em solos com teores de argila menores que 15%, a capacidade de seleção dos térmitas é maior, resultando em cupinzeiros com valores de P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC total e efetiva, V, MO, P_{rem}, silte e argila maiores que estes valores nos solos.

O solo das paredes dos termiteiros existentes nos fragmentos avaliados se diferem do solo adjacente, devido ao incremento de nutrientes neste, sendo esse mais evidente para Ca, Mg e matéria orgânica.

Faz-se necessário para a melhor compreensão da ciclagem de nutriente nos candeiais da região norte do município de Mariana o estudo do acúmulo de nutrientes nos indivíduos de candeia bem como na serapilheira existente nas áreas.

Para o entendimento da espacialização dos candeias é necessário estudos que busquem compreender de que forma a geomorfologia, face de exposição solar e a geologia contribuem para com a existência da candeia em uma determinada área.