

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - IFMG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE E
TECNOLOGIA AMBIENTAL

JÚLIA PIMENTA MELO CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E ASSOCIAÇÕES ENTRE
SOLOS E MACAUBAIS DE OCORRÊNCIA ESPONTÂNEA EM
BAMBUÍ/MG**

BAMBUÍ – MG

2017

JÚLIA PIMENTA MELO CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E ASSOCIAÇÕES ENTRE
SOLOS E MACAUBAIS DE OCORRÊNCIA ESPONTÂNEA EM
BAMBUÍ/MG**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Ciências Ambientais.
Linha de Pesquisa: Ecologia Aplicada.
Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Monteiro Corrêa.



DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - PARECER

MESTRANDA: Júlia Pimenta Melo Carvalho.

TÍTULO DO TRABALHO: ""Caracterização Ambiental e Associações entre Solos e Macaúba de Ocorrência Espontânea em Bambuí/MG".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Ciências Ambientais.

LINHA DE PESQUISA: Ecologia Aplicada

BANCA: Prof^o. Dr. Aderlan Gomes da Silva (IFMG-Itabirito) – Orientador

Prof^o. Dr. Aderbal Gomes da Silva (membro externo UFSJ-Sete Lagoas-MG)

Prof^o. Dr. Paulino da Cunha Leite (IFMG-Bambuí)

Prof^o. Dr. Ricardo Monteiro Corrêa (IFMG-Bambuí)

Título do Trabalho – houve alteração () Sim (X) Não

Se sim, qual o novo título _____

Média de pontuação conforme o Barema: 94

PARECER FAVORÁVEL (X) SIM () NÃO

Bambuí (MG), 19 de maio de 2017.

Prof^o. Dr. Aderlan Gomes da Silva _____

Prof^o. Dr. Aderbal Gomes da Silva _____

Prof^o. Dr. Paulino da Cunha Leite _____

Prof^o. Dr. Ricardo Monteiro Corrêa _____

C331c Carvalho, Júlia Pimenta Melo.

Caracterização ambiental e associações entre solos e macubais de ocorrência espontânea em Bambuí/MG. / Júlia Pimenta Melo Carvalho. – 2017.

70 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva.

Dissertação de mestrado (Pós-graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2017.

1. Acrocomia aculeata. 2. Análise multivariada. 3. Biodiesel. 4. Sustentabilidade. 5. Micronutrientes. I. Silva, Aderlan Gomes da. II. Título.

CDD 631.4

Ao único Deus sábio, seja honra e glória para todo o sempre. Amém. (1 Tm 1:17)

OFEREÇO.

À minha filha, Luiza, e ao meu esposo, Fred.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de cursar o mestrado.

A toda a minha família, pelo apoio incondicional na realização deste sonho, especialmente aos meus pais, Ascendino e Denize, fonte de inspiração, força e respeito.

A todas as pessoas que cuidaram da minha filha na minha ausência, em especial: Fred, mãe, Tereza, Rosa, Luana, Graça, Flávia e Fernanda.

Aos meus imprescindíveis e incansáveis companheiros de campo: meu esposo Fred, papai Ascendino e o agrônomo César Ferreira.

Ao Professor Aderlan Gomes da Silva, pela orientação, dedicação e ensinamentos.

Ao Professor Ricardo Monteiro Corrêa, pela coorientação e paciência.

Ao Professor Aderbal Gomes da Silva, por compor a banca examinadora.

Ao Professor Paulino da Cunha Leite, pela brilhante ideia a mim concedida e por toda a contribuição para que este trabalho acontecesse, e a sua esposa Heloísa, sempre presente, sorridente e prestativa.

Ao biólogo Frederico Pahlm Ribeiro Gonçalves, pelo apoio dado na identificação de espécies.

A todos os professores do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, pela dedicação ao curso e por conseguirem, de várias maneiras diferentes, despertar em mim uma vontade desesperadora de respeitar e cuidar cada vez mais da “nossa casa”.

Aos funcionários do Laboratório de Solos do IFMG – Campus Bambuí, em especial, Li Chaves e Sílvia.

Ao secretário do mestrado, Ronaldo dos Reis Barbosa, sempre disposto.

A todos os colegas de mestrado, que muito me ensinaram nesta linda caminhada.

Aos meus colegas de trabalho da FHEMIG - Casa de Saúde São Francisco de Assis/Bambuí-MG, pela compreensão nos momentos de ausência.

À Impacto Engenharia e Consultoria LTDA., na pessoa de Cleiber Reinaldo, pelo apoio dado na confecção dos mapas e figuras.

Aos produtores rurais que permitiram que eu usasse suas propriedades para executar este trabalho.

E a todos aqueles que contribuíram de várias maneiras para esta pesquisa.

Caracterização ambiental e associações entre solos e macaúba de ocorrência espontânea em Bambuí/MG

RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) apresenta potencial promissor para a produção de biodiesel e encontra-se em fase inicial de domesticação. Tendo em vista a ocorrência espontânea desta palmeira em grande parte do território brasileiro e a possibilidade de exploração comercial dos seus produtos e co-produtos, este trabalho teve como objetivo caracterizar os ambientes de ocorrência espontânea de macaúba, dentro da área da microbacia do rio Perdição, pertencente ao município de Bambuí-MG, investigando as associações existentes entre os solos e os parâmetros fitossociológicos que descrevem os macaúba. A pesquisa foi realizada entre janeiro e agosto de 2016. Seguindo o conceito de topossequência, foram estudadas 6 encostas de morro onde a ocorrência da macaúba acontece de forma espontânea. As topossequências foram delimitadas em 3 porções no sentido do declive, descendo do topo do morro, passando pela meia-encosta, até o sopé ou terço inferior da encosta. No total, foram amostrados 18 sítios (6 no topo, 6 na meia encosta e 6 no sopé), sendo que todos eles foram georreferenciados e tiveram a área total calculada em hectares. A caracterização ambiental dos sítios foi realizada em campo, por meio da observação de informações diversas, além da descrição da ocorrência de outras espécies vegetais. Amostras de solo foram coletadas em cada sítio para análises física e química para fins de fertilidade. Nos povoamentos nativos de macaúba foram mensurados parâmetros fitossociológicos. Foram realizadas análises estatísticas descritivas usando as variáveis edáficas e os parâmetros fitossociológicos em termos de média e desvio padrão. Na análise estatística multivariada foram realizadas a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Correspondência Canônica (ACC), para verificar as associações entre os solos e os parâmetros fitossociológicos dos macaúba. A microbacia do rio Perdição, área pertencente ao município de Bambuí, possui um manancial de macaúba de ocorrência espontânea, com grande potencial produtivo. A macaúba ocorre preferencialmente em posições médias e baixas da paisagem, em solos de textura média, cobertos originalmente por fitofisionomias variando de cerradão, cerrado típico, campo cerrado e campo sujo. Possui alta plasticidade quanto às características físico-químicas do solo e certa tolerância ao alumínio solúvel no solo. As porções de topo, meia-encosta e sopé do relevo não diferem entre si quanto às características edáficas e os parâmetros fitossociológicos estudados. Os micronutrientes contribuem de forma significativa para a associação entre os solos e os parâmetros fitossociológicos dos macaúba. Dentre as associações, as que mais se destacaram foram Fe e Cu correlacionando positivamente com Altura, ao mesmo tempo em que negativamente com N° de indivíduos/ha e N° de Cachos/planta, além da correlação negativa entre B e N° de Cachos/planta. Portanto, parece existir uma relação estreita entre a ocorrência espontânea de macaúba e a disponibilidade de micronutrientes no solo, a qual necessita de estudos mais aprofundados.

PALAVRAS-CHAVE: *Acrocomia aculeata*; análise multivariada; biodiesel; sustentabilidade; micronutrientes.

Environmental characterization and associations between spontaneously occurring soils and macauba forests in Bambuí/MG

ABSTRACT

The macauba palm (*Acrocomia aculeata*) presents promising potential for the production of biodiesel and it is in the initial stage of domestication. Considering the spontaneous occurrence of this palm tree in a large part of the Brazilian territory and the possibility of commercial exploitation of its products and co-products, this work aimed to characterize the spontaneous occurrence of macauba palm within the area of the river basin of the river Perdição, belonging to the municipality of Bambuí-MG, investigating the associations between the soils and the phytosociological parameters that describe the macauba forests. The research was carried out between January and August of 2016. Following the concept of toposequence, 6 hill slopes were studied where the macauba palm occurs spontaneously. The toposequences were delimited in 3 portions in the direction of the slope, descending from the top of the hill, through the half-slope, to the foot or lower third of the slope. In total, 18 sites were sampled (6 at the top, 6 at the half-slope and 6 at the foot), all of which were geo-referenced and had the total area calculated in hectares. The environmental characterization of the sites was carried out in the field, through the observation of several information, besides the description of the occurrence of other plant species. Soil samples were collected at each site for physical and chemical analysis for fertility purposes. In the native stands of macauba palm, phytosociological parameters were measured. Descriptive statistical analyzes were carried out using edaphic variables and phytosociological parameters in terms of mean and standard deviation. In the multivariate statistical analysis, Principal Component Analysis (PCA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA) were performed to verify the associations between the soils and the phytosociological parameters of the macauba natural stands. The microbasin of the river Perdição, an area belonging to the municipality of Bambuí, has a source of spontaneous occurrence of macauba palm, with great productive potential. The palm occurs preferentially in medium and low landscape positions, in medium textured soils, originally covered by some savanna phytophysiognomy types. It has high plasticity as regards the physical-chemical characteristics of the soil and a certain tolerance to the aluminum soluble in the soil. The top, half-slope and slope portions of the relief do not differ in relation to the edaphic characteristics and the phytosociological parameters studied. Micronutrients contribute significantly to the association between soils and phytosociological parameters of macauba forests. Among the associations, Iron and Copper were positively correlated with height, at the same time as negatively with number of individuals / ha and Number of Coconut bunch / plant, in addition to the negative correlation between Boron and Number of Coconut bunch / plant. Therefore, there seems to be a close relationship between the spontaneous occurrence of macauba palm and the availability of micronutrients in the soil, which requires further studies.

KEY WORDS: *Acrocomia aculeata*; multivariate analysis; biodiesel; sustainability; micronutrients.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1-** Mapa das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais, destacando-se em amarelo a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco..... 20
- Figura 2.2-** Mapa da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Alto Rio São Francisco, com destaque para o rio Perdição..... 22
- Figura 2.3-** Mapa de solos do estado de Minas Gerais, com destaque para a microbacia do rio Perdição, município de Bambuí/MG, área estudada..... 24
- Figura 3.1-** Planta de situação da microbacia do rio Perdição, área pertencente ao município de Bambuí-MG, destacando-se os sítios estudados..... 28
- Figura 3.2-** Topossequências 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com destaque para as porções 1, 2 e 3 do relevo, com povoamentos nativos de macaúba, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 30
- Figura 4.1-** Indivíduo de macaúba servindo como apoio para epífita, em um sítio avaliado na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 41
- Figura 4.2-** Tolerância ao fogo de um povoamento de macaúba, em incêndio em uma lavoura de cana-de-açúcar no município de Bambuí, no mês de agosto de 2016..... 42
- Figura 4.3 –** Sementes de macaúba com endocarpo, carregadas pela enxurrada em um dos sítios avaliados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 42

Figura 4.4- Presença de cascalho na porção de meia-encosta (P2) da topossequência 4, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 48

Figura 4.5- Componentes principais com base nas variáveis edáficas e parâmetros fitossociológicos dos sítios amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 59

Figura 4.6- Correspondência canônica para os sítios estudados, com as variáveis edáficas e parâmetros fitossociológicos amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 63

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1:** Identificação, localização, altitude, fitofisionomia e uso atual do solo dos sítios amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 38
- Tabela 4.2:** Espécies vegetais identificadas habitando junto aos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba, nos sítios amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 39
- Tabela 4.3:** Características gerais das porções do relevo que abrigam os povoamentos de macaúba amostrados em cada topossequência, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 44
- Tabela 4.4:** Média e desvio padrão para os parâmetros fitossociológicos dos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba, em relação às diferentes porções do relevo, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 46
- Tabela 4.5:** Média e desvio padrão para os atributos físicos do solo, em relação às diferentes porções do relevo, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 48
- Tabela 4.6:** Média e desvio padrão para atributos químicos do solo, em relação às diferentes porções do relevo, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 51
- Tabela 4.7:** Autovalores, porcentagem de variância e porcentagem de variância acumulada da ACP com dados dos sítios amostrados, solos e parâmetros fitossociológicos, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 56

Tabela 4.8: Correlações entre os dois primeiros eixos de ordenação da ACP com os parâmetros fitossociológicos e variáveis edáficas, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 57

Tabela 4.9: Autovalores, porcentagem de variância e porcentagem de variância acumulada da ACC com dados dos solos e parâmetros fitossociológicos amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 60

Tabela 4.10: Correlações entre os dois primeiros eixos de ordenação da ACC e as variáveis edáficas na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016..... 61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Macaúba.....	13
2.2 Município de Bambuí e microbacia do rio Perdição	19
2.3 Análises estatísticas	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	27
3.2 Seleção dos sítios amostrados.....	29
3.3 Trabalho de campo e análises de laboratório.....	33
3.4 Análises estatísticas aplicadas	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Identificação, localização e caracterização ambiental	36
4.2 Aspectos ecológicos da macaúba.....	40
4.3 Povoamentos de macaúba.....	43
4.3.1 Características gerais	43
4.3.2 Parâmetros fitossociológicos	44
4.4 Solos.....	47
4.4.1 Atributos Físicos	47
4.4.2 Atributos Químicos.....	49
4.5 Relações Solo – Macaúba	55
4.5.1 Análise de Componentes Principais (ACP).....	56
4.5.2 Análise de Correspondência Canônica (ACC)	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

Encontrar o equilíbrio entre a satisfação das necessidades pessoais e a preservação ambiental tem se tornado um dos principais desafios mundiais. O alto número da população mundial conciliado com o aumento do poder de consumo em países emergentes, como o Brasil, tem implicado em problemas diversos, como o consumismo desenfreado, a destinação irregular de resíduos, a geração crescente de lixo e o aquecimento global. O uso irracional dos recursos naturais tem contribuído significativamente para a devastação do ambiente, indo em desencontro à sustentabilidade.

Além de altamente poluidoras, as principais fontes energéticas utilizadas atualmente são limitadas, o que torna crescente a busca por fontes alternativas de energia, especialmente as renováveis. No Brasil, estudos acerca de combustíveis alternativos tiveram início na década de 1970, com o programa Proálcool, o qual foi implementado em função da crise do petróleo (ASSUMPÇÃO, 2006). Além do álcool etílico, obtido a partir da cana-de-açúcar, outro biocombustível tem recebido grande destaque no cenário nacional: o biodiesel. Este, além de ser um combustível biodegradável obtido de fontes renováveis, proporciona benefícios ambientais, econômicos e sociais diversos.

A principal rota para obtenção de biodiesel é a transesterificação de óleos e gorduras. Nesta reação, o óleo ou gordura é misturado ao metanol ou etanol e, na presença de um catalisador, dá origem a uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos. Essa mistura é o que hoje se conhece como biodiesel. Como subproduto desta reação forma-se a glicerina (RAMOS, 2010, p. 63).

As principais matérias-primas utilizadas na produção nacional de biodiesel são a soja, o sebo bovino, o óleo de algodão, o girassol e a mamona (RAMOS, 2010). Entretanto, dada a ampla diversidade dos nossos ecossistemas, existem inúmeras fontes potenciais de oleaginosas no Brasil para a produção de biodiesel (ASSUMPÇÃO, 2006), as quais ainda necessitam de conhecimento e precisam ser exploradas. Com

extensas áreas agricultáveis, muitas delas inapropriadas ao cultivo de alimentos, o Brasil possui condições favoráveis para se tornar um grande produtor mundial de biodiesel.

Em busca da sustentabilidade energética, ambiental, social e econômica do País, são necessárias matérias-primas alternativas destinadas à produção de biodiesel, as quais possuam maior produtividade e menor impacto sobre o meio ambiente, a sociedade, o mercado de alimentos e a economia nacional (RAMOS, 2010).

Diferentes palmáceas, capazes de produzir até seis mil litros de óleo por hectare ao ano, estão sendo alvos de pesquisas (PIMENTEL et al., [200-?]). Conforme Costa e Marchi (2008), dendê, macaúba, babaçu, tucumã e inajá têm recebido prioridade de investimentos em pesquisas, entretanto, com exceção do dendê, predomina a escassez de informações botânicas, ecológicas, silviculturais e agrônômicas que possibilitem a incorporação dessas espécies em sistemas de produção.

Com potencial promissor para a produção de biodiesel e ainda em fase inicial de domesticação, destaca-se a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius], palmeira nativa, frutífera, perene, de ampla distribuição geográfica. Reconhecida por sua rusticidade, produtividade e ocorrência natural em grande parte do território brasileiro, espera-se muito desta espécie, cuja matéria-prima tem correspondido bem às expectativas (RAMOS, 2010).

A macaúba apresenta qualidades importantes dos pontos de vista natural, ecológico e socioeconômico (NUCCI, 2007), devendo ser incentivados seu cultivo e exploração. Na região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais, local de desenvolvimento desta pesquisa, ocorrem espontaneamente inúmeros povoamentos de macaúba que podem se tornar valiosa fonte de renda e geração de empregos, contribuindo para a promoção do crescimento da região. Entretanto, pouco se conhece sobre as exigências ecológicas, o comportamento em ambientes naturais e as condições de cultivo dessa espécie.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo geral caracterizar os ambientes de ocorrência espontânea de macaúba, dentro da área da microbacia do rio Perdição, pertencente ao município de Bambuí-MG, investigando as associações existentes entre os solos e os parâmetros fitossociológicos que descrevem os macaubais.

Os objetivos específicos foram:

- Identificar os povoamentos de macaúba de ocorrência espontânea existentes na parte da microbacia do rio Perdição, pertencente ao município de Bambuí-MG;
- Caracterizar o ambiente, o solo e a vegetação dos sítios estudados, além de avaliar aspectos ecológicos da macaúba;
- Averiguar se as porções de topo, terço médio e sopé do relevo diferem entre si quanto às variáveis edáficas e parâmetros fitossociológicos estudados;
- Averiguar se existem correlações entre as variáveis edáficas e os parâmetros fitossociológicos estudados;
- Direcionar novas pesquisas com a macaúba, contribuindo para a sua domesticação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Macaúba

Muitas palmeiras têm grande importância econômica em função dos diferentes produtos delas obtidos, principalmente aqueles relacionados à alimentação humana (LORENZI et al., 1996). No Brasil, as principais palmáceas cultivadas são a palma africana (*Elaeis guineensis*) e o coqueiro (*Cocos nucifera*), existindo ainda algumas exploradas basicamente no âmbito extrativista, de importância socioeconômica e ambiental para algumas regiões, como a pupunha (*Bactris gasipaes*), o açaí (*Euterpe oleracea*), o babaçu (*Orbignya* spp.) e a macaúba (*Acrocomia aculeata*) (PIMENTEL et al., 2011).

Especial destaque tem sido dado à macaúba, principalmente em função do seu potencial como fonte produtora de energia renovável para a geração de biodiesel. Desde a segunda metade do século passado, pesquisas sobre o coco macaúba têm sido realizadas no Brasil, impulsionadas na década de 1980, quando o programa Pro-óleo passou a prever a produção de óleos vegetais em larga escala para substituir o óleo diesel vendido no País. Em 2004, após um período dormente, o interesse pela macaúba

voltou à tona com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) (MOTOIKE, NACIF e PAES, 2011).

Em Minas Gerais, diante da possibilidade da exploração sustentável da macaúba, foi instituída, em 13 de janeiro de 2011, a Lei 19.485 (Pró-Macaúba), que rege a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas (MINAS GERAIS, 2011).

Pertencente à família *Arecaceae* (anteriormente denominada *Palmae*), a macaúba é uma palmeira perene, também conhecida popularmente como dendê mineiro (TEIXEIRA, 2005), bocaiúva (BORCIONI, 2012), coco-de-catarro, coco-de-espinho, coco-baboso, bacaiúva, bacauveira, macaúva, macaíba, macacaúba, mucajá, mucajuba, mucaiá (LORENZI, 2002), dentre outras denominações.

A macaúba é nativa das savanas, cerrados e florestas abertas da América Tropical (CLEMENT, LLERAS PÉREZ e VAN LEEUWEN, 2005) e sua distribuição estende-se do México à Argentina, embora ocorra mais abundantemente nas Antilhas, Costa Rica, Paraguai e Brasil (CETEC, 1983).

Com ampla distribuição geográfica (BERTON, 2013; COSTA, 2009), a macaúba é considerada a palmeira de maior dispersão no Brasil (BORCIONI, 2012). Encontram-se maciços naturais desde o estado do Pará, de clima equatorial, até o Paraná, de clima subtropical, sendo Minas Gerais um dos estados mais representativos na ocorrência natural desta espécie (PIMENTEL et al., 2011), ocorrendo grandes populações de macaúba apontadas como economicamente promissoras (MOTTA et al., 2002). Manfio et al. (2011) afirmam que, apesar de serem necessários estudos científicos para confirmação, o Brasil pode ser considerado o centro de origem da macaúba, devido à ampla variedade da espécie.

A macaúba vem demonstrando ser uma cultura tolerante a diversos ambientes (BRITO, 2013). As áreas de vegetação aberta com alta incidência solar são seus principais habitats, sendo muito frequente em regiões de pastagens (MOURA, 2007). Ocorre em muitas áreas perturbadas por humanos (CLEMENT, LLERAS PÉREZ e VAN LEEUWEN, 2005) e tem característica de ser colonizadora de áreas degradadas (MOURA, 2007).

Quanto à posição na paisagem, localiza-se principalmente em encostas de morros (MOTTA et al., 2002; LORENZI et al., 1996), indo até posições baixas, nunca no topo da paisagem (MOTTA et al., 2002). Pimentel et al. (2011) observaram, em Minas Gerais, que a ocorrência natural da macaúba tem ampla distribuição nas faixas de transição dos ambientes de floresta subcaducifólia para as áreas de Cerrado. Também em Minas Gerais, Motta et al. (2002), estudando sequências de solos em diferentes regiões do estado, afirmaram que a distribuição da espécie coincide com solos originalmente sob vegetação florestal, evitando solos sob vegetação primitiva das fitofisionomias cerrado ou campo. Lorenzi (2002) destaca sua maior dispersão, porém descontínua, nas formações secundárias como capoeiras e capoeirões, ressaltando a ocorrência preferencial da macaúba na floresta latifoliada semidecídua (floresta tropical subcaducifólia).

Possuindo adaptabilidade a condições edafoclimáticas diversas (PIMENTEL et al., 2011; BERTON, 2013), é possível encontrar maciços nativos de macaúba em regiões com precipitação anual de 1.080 mm (Montes Claros, MG) até 2.200 mm (Tailândia, PA) (PIMENTEL, 2012). Motta et al. (2002) encontraram populações de macaúba em regiões de Minas Gerais cuja precipitação total anual varia de 1.100 a 1.500 mm, enquanto Teles (2009) encontrou populações de ocorrência natural no estado de Goiás em uma faixa de precipitação total anual acima deste valor, variando entre 1.200 mm e 1.800 mm.

Para Berton (2013), a macaúba ocorre em regiões com altitude variando de zero a 1400 m, desde matas ciliares, áreas de pastagens e topos de morros com afloramento rochoso. Em Goiás, Teles (2009) identificou populações em locais com altitude variando de 600 m até o máximo de quase 800 m.

Quanto à temperatura, a espécie vegeta em regiões oscilando entre 15 e 35 °C (CETEC, 1983).

A macaúba é rústica (BRITO, 2013; PIMENTEL et al., 2011), pioneira (LORENZI, 2002) e reconhecida como espécie indicadora de solos férteis (MOURA, 2007; LORENZI, 2002; MOTTA et al., 2002). Porém, por se tratar de uma espécie nativa ainda não domesticada (BRITO, 2013), as exigências edáficas da macaúba carecem de observações sistemáticas, sendo alvo de comentários discordantes, além de serem desconhecidas suas exigências ecológicas (MOTTA et al., 2002).

Planta perenifolia, heliófita (LORENZI, 2002) e tolerante ao fogo (LORENZI et al., 1996; CETEC, 1983), a macaúba é facilmente reconhecida pelo estipe, que apresenta espinhos escuros e pontiagudos, de aproximadamente 10 cm de comprimento, encontrados na região dos nós (BORCIONI, 2012); além da folha, que também é coberta por espinhos (COSTA, 2009; LORENZI, 2002).

Segundo Lorenzi (2002), esta espécie atinge altura de 10 a 15 m, e o diâmetro do estipe varia de 20 a 30 cm. As folhas estão presentes em número de 20 a 30, contemporâneas, com comprimento de 4 a 5 m. Os cachos têm de 70 a 80 cm de comprimento, e algumas plantas conservam, no estipe, os remanescentes da base das bainhas foliares por muitos anos.

Quanto ao florescimento, Lorenzi (2002) afirma que a macaúba floresce quase o ano todo, porém com maior intensidade de outubro a janeiro. Estudando populações na região do Pantanal Mato-grossense, Lorenzi (2006) observou que a floração é anual e regular, ocorrendo de agosto a setembro até outubro a novembro. Já em populações estudadas em Minas Gerais e São Paulo, Berton (2013) concluiu que a emissão das espigas florais se deu de agosto a fevereiro, sendo registradas inflorescências de macaúba a partir de novembro, estendendo até fevereiro.

A frutificação da macaúba acontece normalmente após cinco anos de idade, com um rendimento médio anual de quatro cachos por palmeira, sendo que cada cacho pode produzir entre 12 e 15 kg de cocos. Em regiões de solos mais férteis, encontram-se palmeiras com até dez cachos (CETEC, 1983). Lorenzi et al. (2011) ressaltam que a formação dos frutos geralmente se inicia em setembro, e o processo de maturação leva vários meses, podendo chegar a um ano. Entre outubro e dezembro é que ocorre a maior disponibilidade de frutos maduros, por isso, este período é reconhecido como safra da macaúba. Berton (2013) também observou que o processo de desenvolvimento dos frutos se estende durante o ano todo, concluindo que a formação dos frutos se dá de novembro a fevereiro e que a maior disponibilidade de frutos maduros acontece nos meses de novembro e dezembro, sendo que esta atividade é prolongada até maio. Já Lorenzi (2002) relata o amadurecimento dos frutos entre setembro e janeiro.

O coco macaúba é uma drupa esférica ligeiramente achatada, com o diâmetro variando entre 3,0 e 5,0 cm, podendo, eventualmente, medir até 6,0 cm. Constitui-se do epicarpo (casca externa) duro, quebradiço e impregnado (se o coco estiver maduro); do

mesocarpo (ou polpa) oleoso e fibroso, de coloração amarelo-alaranjado; e do endocarpo escuro e duro, que envolve uma ou duas amêndoas, também oleaginosas (CETEC, 1983). Comunidades tradicionais que vivem no entorno de macaúbas e pessoas ligadas a esta palmeira relacionam os frutos de coloração mais amarelada ou alaranjada como sendo os de maior teor de óleo (BERTON, 2013).

A macaúba não apresenta propagação vegetativa evidente, não se reproduz por qualquer forma de brotação (BICALHO et al., 2011), não gera touceiras e sua reprodução é seminífera (MOURA, 2007; BICALHO et al., 2011). Esta espécie apresenta dificuldades de propagação em decorrência da dormência inerente às suas sementes (BICALHO et al., 2011), além do seu baixo percentual de germinação, em torno de 3% (TEIXEIRA, 2005). De acordo com Borcioni (2012), uma forma de viabilizar o processo de produção de mudas da macaúba é a utilização de técnicas de propagação *in vitro*, via embriões zigóticos, já que a cultura de embriões é uma realidade na propagação de várias espécies, onde diversas palmeiras de importância econômica têm sido multiplicadas com maior ou menor sucesso.

A dispersão das sementes de macaúba é feita por animais que se alimentam de seus frutos (MOURA, 2007), como avaliado por Berton (2013), que observou diversas espécies de aves se refugiando em macaúbas, utilizando-as como fonte de alimento e nidificação, além de mamíferos - primatas, canídeos, roedores e bovinos - que as utilizaram como fonte de alimento. Ressalta-se também a dispersão das sementes da macaúba por meio do carreamento dos frutos pela enxurrada.

Todas as partes da macaúba têm alguma utilidade, embora seus frutos e coprodutos ainda sejam pouco aproveitados comercialmente (NOBRE et al., 2014). As folhas são forrageiras e fornecem fibras têxteis para a confecção de redes e linhas de pescar. A palmeira é ornamental, podendo ser usada no paisagismo em geral. Do miolo do tronco, obtém-se uma fécula nutritiva, e o fruto é a parte mais importante da planta, cuja polpa é consumida *in natura* ou usada para extração de gordura comestível, sendo que a amêndoa fornece óleo claro com qualidade semelhante ao de oliveira (LORENZI, 2002). Estudando comunidades tradicionais do Alto Pantanal Mato-grossense, Lorenzi (2006) identificou nove diferentes categorias de uso associadas a distintas partes da palmeira, destacando-se os usos medicinal e alimentício, especialmente a utilização da polpa na fabricação de sucos, sorvetes, licores e bolos.

Entre as palmeiras oleaginosas promissoras para produção de biodiesel, a macaúba tem despertado interesse (BORCIONI, 2012), já que o início do seu ciclo produtivo ocorre quatro ou cinco anos após o plantio, prolongando-se por oitenta a cem anos. A faixa de produtividade anual varia de 1.470 a 4.970 litros de óleo por hectare, índices somente atingidos por poucas espécies, como o dendê, o pinhão-manso e o coco-da-baía (CETEC, 1983; TEIXEIRA, 2005; CASTRO, 2007).

Além da alta produtividade de óleo, a macaúba destaca-se também por apresentar várias características positivas, como rusticidade, ampla adaptabilidade, possibilidade de cultivo em pequenas propriedades e produção de óleos e coprodutos (tortas) sem toxina (PIMENTEL et al., 2011). Por ser uma cultura perene, pode contribuir para a conservação do solo (LEITE et al., 2013), com possibilidade de cultivo em sistemas agrossilvipastoris (PIMENTEL et al., 2011; BERTON, 2013). Além disso, melhora o microclima das áreas de pastagem e evita erosões (BERTON, 2013). Traz ainda benefícios ecológicos ao ser utilizada em projetos de recuperação de pastagens degradadas (BRITO, 2013). Porém, como características menos favoráveis, destacam-se a maturação irregular dos frutos no cacho (CLEMENT, LLERAS PÉREZ e VAN LEEUWEN, 2005) e a não domesticação da cultura (PIMENTEL et al., 2011).

Até o momento, a exploração da macaúba vem sendo feita de forma extrativista, e, por isso, existem poucas informações técnicas sobre seu cultivo (BORCIONI, 2012; MOTTA et al., 2002; TELES, 2009). Poucos estudos foram realizados com a espécie, sendo que a maioria relata a ocorrência de pragas ou sua distribuição geográfica (NUCCI, 2007), além daqueles relacionados à coleta e extração do óleo dos frutos e amêndoas. Ainda são necessários estudos para gerar diversas informações, como exigências edafoclimáticas, consórcio com culturas temporárias, fenologia, reprodução vegetativa e/ou sexuada, variações genéticas dentro e entre populações, etc. (BRITO, 2013).

Considerando a heterogeneidade das populações naturais e a fim de se estabelecer cultivos racionais, a domesticação da macaúba pode viabilizar a utilização do óleo como fonte produtora de biodiesel (MOTTA et al., 2002). Os processos de domesticação da macaúba incluem o melhoramento genético e o desenvolvimento de tecnologias de plantio e manejo da cultura (MANFIO, 2010), além da propagação de mudas selecionadas a partir de matrizes superiores, visando à otimização da produção

(MOURA, 2007). Também se faz necessário estudar e conhecer o ambiente de ocorrência natural da macaúba, tanto para seu uso como para sua preservação, tendo em vista a diversidade de solos e climas existentes no País (TELES, 2009).

2.2 Município de Bambuí e microbacia do rio Perdição

A região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais é composta por 56 municípios, estando o município de Bambuí situado na parte norte. Este possui diferentes ecossistemas, desde Cerrado e áreas de transição de Mata Atlântica até Campos, compondo uma paisagem de montanhas e planaltos (FARIA, 2013). O clima predominante é tropical, com verão chuvoso, inverno seco e temperaturas médias entre 21 °C e 23 °C (OLIVEIRA, 2014). A superfície orienta-se na direção da calha do rio São Francisco e apresenta níveis altimétricos entre 600 e 900 metros (SOUZA, 2009).

A cobertura vegetal original do município de Bambuí constituía-se pelas fitofisionomias cerrado denso, campo sujo ou campo cerrado em áreas baixas (em torno dos 600 metros de altitude), enquanto nos níveis mais elevados (cerca de 800 metros) dominava a floresta estacional (SOUZA, 2009).

As fronteiras se dão ao norte pelos municípios de Tapiraí, Córrego Danta e Luz; ao sul, pelo município de São Roque de Minas; a leste, pelos municípios de Iguatama e Doloresópolis; e a Oeste, pelo município de Medeiros (SOUZA, 2009).

Emancipada no dia 10 de julho de 1886, a cidade de Bambuí localiza-se a aproximadamente 270 km da capital mineira, Belo Horizonte (PREFEITURA MUNICIPAL DE BAMBUÍ – PMB, 2016). Possui área territorial de 1.455,82 km², e sua população é formada por um total de 22.734 pessoas (IBGE, 2013). Tem economia baseada na agricultura voltada para culturas tradicionais (café, milho, soja, feijão e cana-de-açúcar), além de pecuária (BARBOSA, 2011).

Bambuí pertence à Região da Canastra, que é o nome dado à região do entorno do Parque Nacional da Serra da Canastra, formada pelos municípios que são cortados pela cabeceira do rio São Francisco (DORNELAS, 2012).

De grande importância para o País, a bacia hidrográfica do rio São Francisco (Figura 2.1) abrange 639.219 km² de área de drenagem (CBHSF, 2016a).

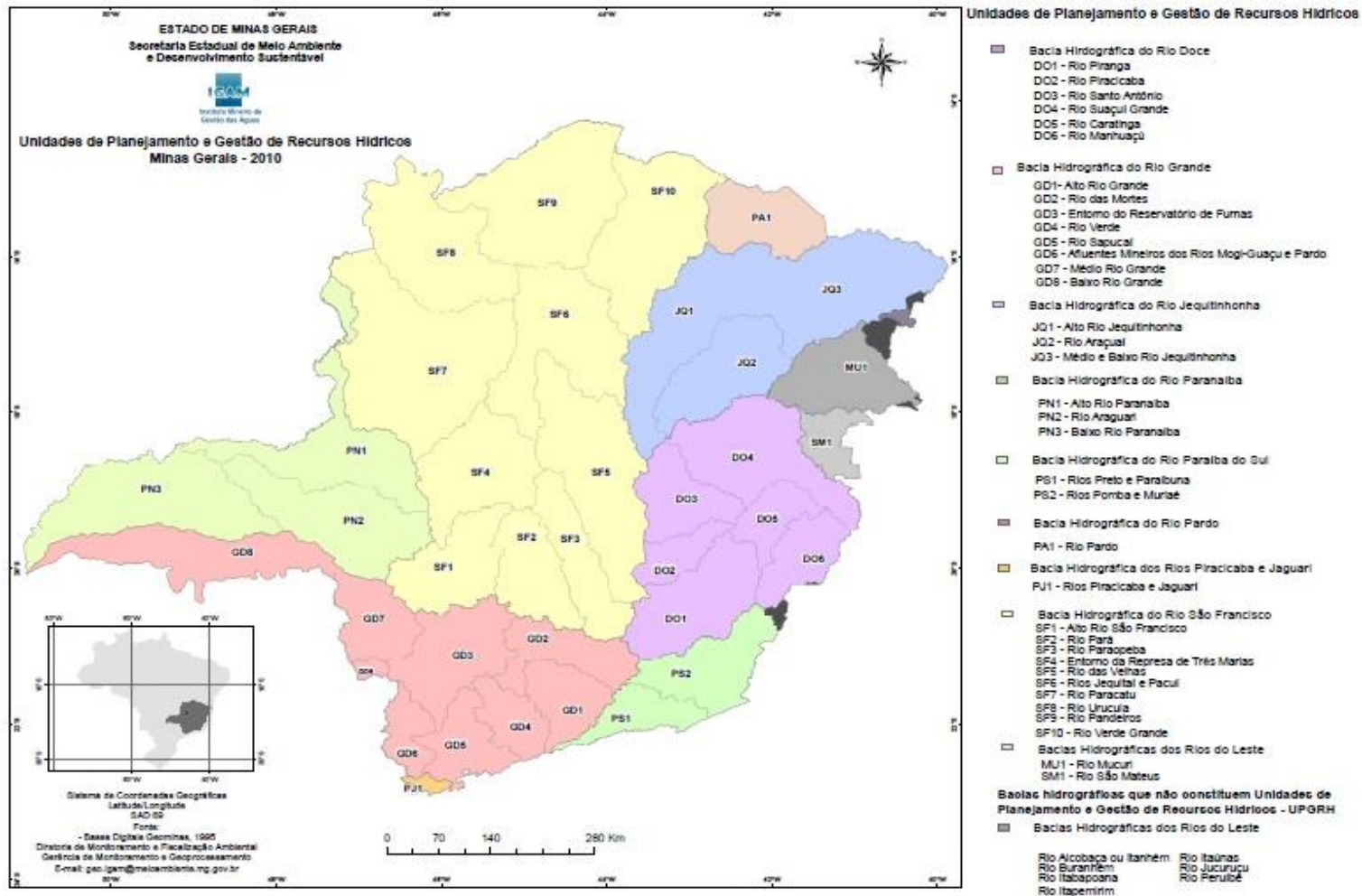


Figura 2.1- Mapa das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais, destacando-se em amarelo a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2010.

Esta bacia é dividida em quatro regiões para fins de planejamento e para facilitar a localização das suas muitas e diversas populações e ambiências naturais, tendo a sua parte inicial a denominação de Alto São Francisco, tomando como referência a área montanhosa onde o rio nasce, na Serra da Canastra, a 1.280 m de altitude (CBHSF, 2016a).

Com área de 14.200 km², a bacia hidrográfica do Alto São Francisco - SF1 - localiza-se nas regiões central e oeste de Minas Gerais, abrangendo 29 municípios e representando 2% da área da bacia do rio São Francisco. Seu território apresenta topografia acidentada, com serras e terrenos ondulados e altitudes que variam de 1.600 a 600 m. A vegetação predominante é de Cerrado, com fragmentos de Mata Atlântica, apresentando um alto índice de chuvas, em torno de 1.300 mm/ano, sendo os rios dessa região responsáveis pela produção de aproximadamente 75% das águas da bacia (CBHSF, 2016b).

Dentre os vários cursos d'água que contribuem para aumentar o volume de água do rio São Francisco, encontra-se o rio Perdição (Figura 2.2), que nasce de pequenos córregos vindos dos municípios de Pratinha, Campos Altos e Tapiraí, passando pelos municípios de Córrego Danta e Bambuí até desaguar na margem esquerda do rio Bambuí, afluente direto do rio São Francisco.

A área de abrangência deste estudo contempla parte da microbacia do rio Perdição, especificamente aquela que pertence ao município de Bambuí. Esta área foi escolhida em virtude do rio Perdição compor parte da divisa entre os municípios de Bambuí e Tapiraí e toda a divisa entre Bambuí e Córrego Danta, sendo estes três municípios reconhecidos regionalmente como áreas de grande concentração de macaúba de ocorrência espontânea.

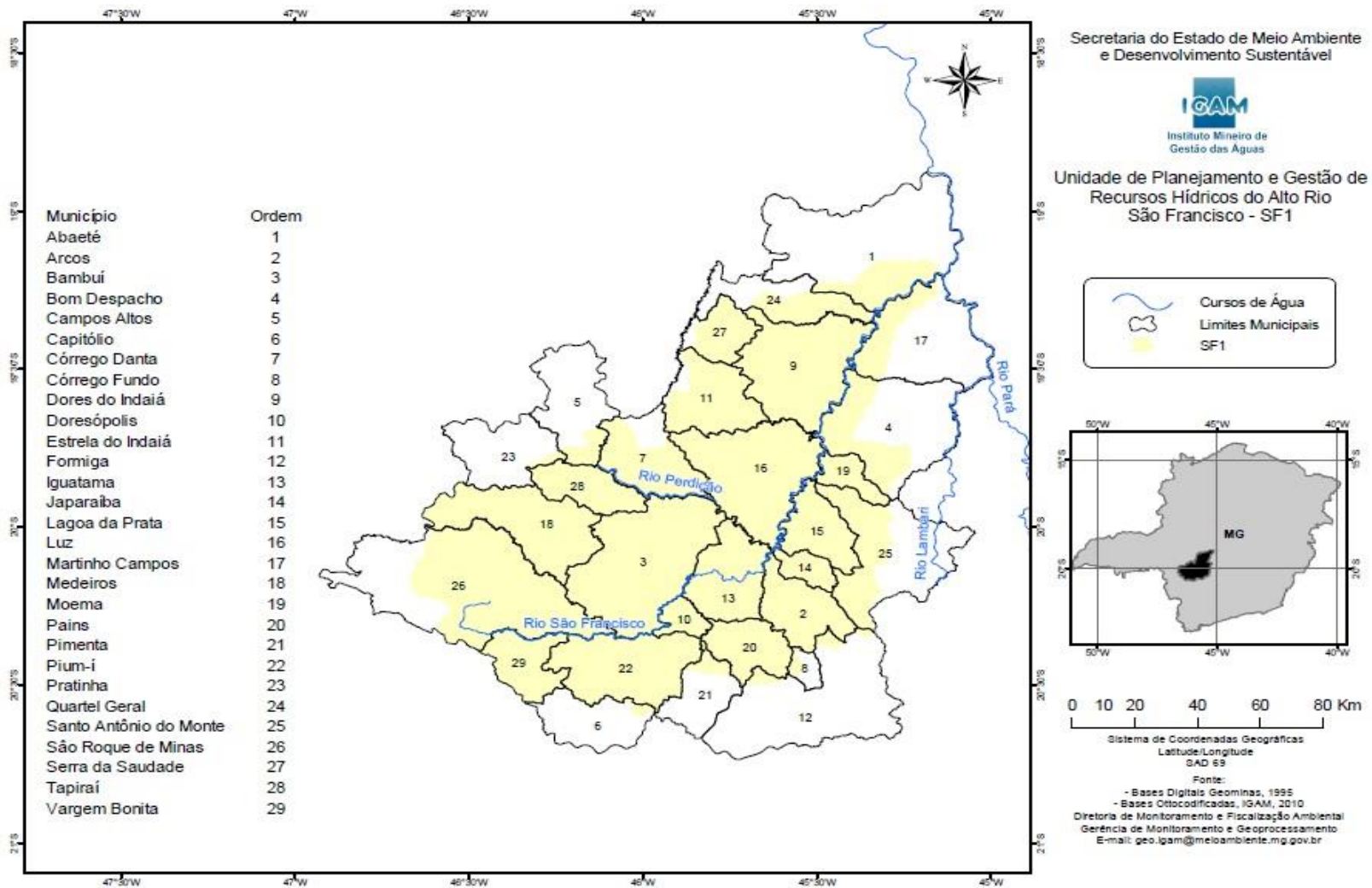


Figura 2.2- Mapa da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Alto Rio São Francisco, com destaque para o rio Perdição.
 Fonte: INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2010.

Na área estudada da microbacia do rio Perdição, os solos são, de um modo geral, classificados como Cambissolos, Neossolos e Latossolos, conforme pode ser observado na Figura 2.3.

Os Cambissolos distribuem-se por todo o território nacional, ocupando cerca de 2,5% da área do País. Apresentam características muito variáveis de um local para outro, tendo em comum o incipiente estágio de evolução do horizonte subsuperficial, apresentando, em geral, fragmentos de rochas permeando a massa do solo e/ou minerais primários, fraco desenvolvimento de estrutura e cor, pequeno ou nulo incremento de argila entre os horizontes superficiais e subsuperficiais e teores relativamente mais elevados de silte em profundidade (BATISTA, PAIVA e MARCOLINO, 2014).

Os Neossolos ocorrem aproximadamente em 15% do território brasileiro, sendo solos pouco evoluídos, jovens, constituídos por material mineral ou por material orgânico, com menos de 20 cm de espessura. Não têm horizonte B diagnóstico definido, seja pela reduzida atuação dos processos de formação ou por características inerentes ao material originário. Apresentam pouca diferenciação de horizontes, com individualização de horizonte A, seguido de horizontes C ou R (rocha), apresentando predomínio de características herdadas do material originário (BATISTA, PAIVA e MARCOLINO, 2014).

Os Latossolos são os solos mais representativos do Brasil, ocupando aproximadamente 39% da área total do país e distribuídos praticamente por todo o território nacional, normalmente em relevo suavemente ondulado e plano. Apresentam horizonte subsuperficial uniforme em cor, textura e estrutura (horizonte B latossólico). São solos profundos, em geral muito lixiviados, ocupando as superfícies mais velhas e estáveis da paisagem. São de textura variável, de média a muito argilosa, porosos, macios e permeáveis, apresentando pequena diferença no teor de argila em profundidade e, comumente, são de baixa fertilidade química natural. Existem variados tipos de Latossolos que se diferenciam, dentre vários outros atributos, pela sua cor, fertilidade química natural, teor de óxidos de ferro e textura (BATISTA, PAIVA e MARCOLINO, 2014).

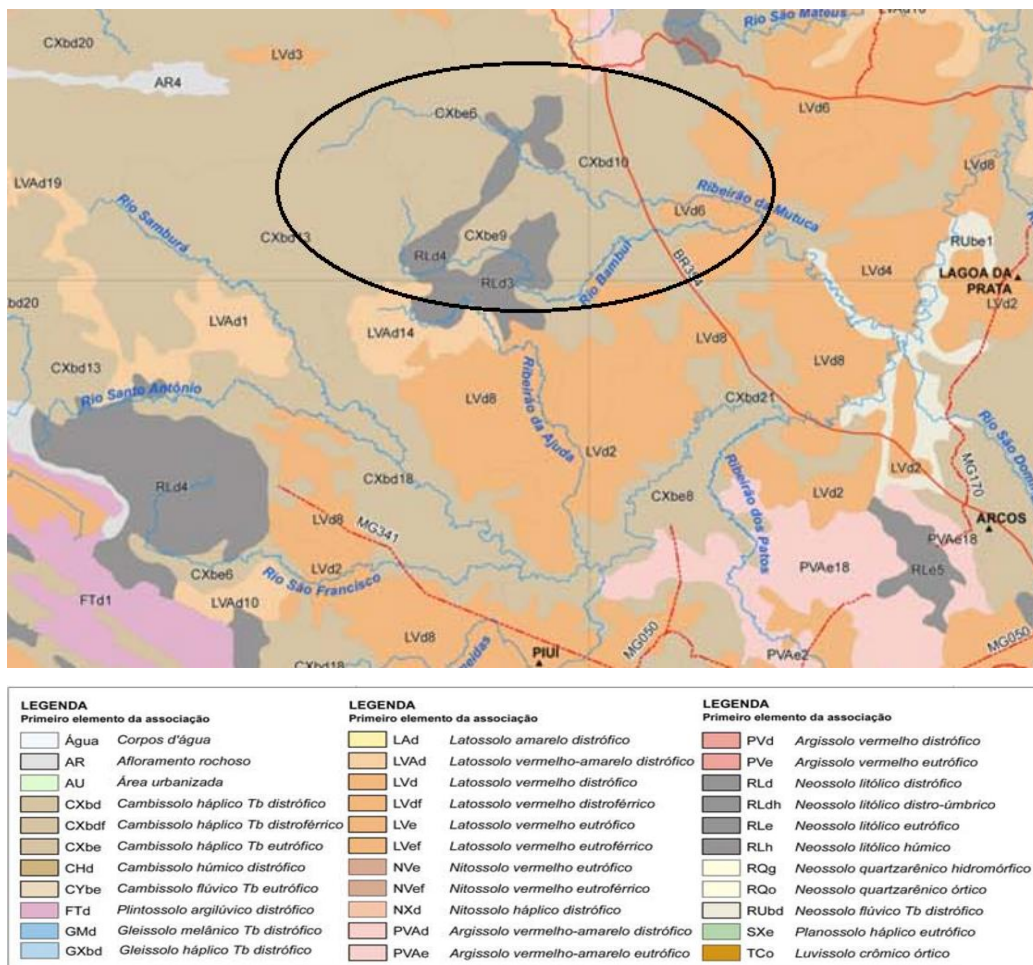


Figura 2.3- Mapa de solos do estado de Minas Gerais, com destaque para a microbacia do rio Perdição, município de Bambuí/MG, área estudada. Escala: 1:650.000.

Fonte: Universidade Federal de Viçosa; Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

(Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/1355-mapa-de-solos>> Acesso em: 24/09/2016).

2.3 Análises estatísticas

Dois grupos de métodos estatísticos são utilizados para analisar variáveis: a estatística univariada, onde o estudo das variáveis é feito de maneira individualizada, e a estatística multivariada, que realiza uma abordagem conjunta das variáveis. Enquanto a análise univariada é útil para realizar estudos confirmatórios, a análise multivariada é uma técnica exploratória, que possibilita o conhecimento das variáveis em estudo (VICINI e SOUZA, 2005).

A análise multivariada refere-se a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob

investigação, sendo que, a princípio, qualquer análise simultânea de mais que duas variáveis pode ser considerada como multivariada (HAIR JR. et al., 2009). Para esta análise, é necessário que exista uma estrutura de correlação entre as variáveis (VICINI e SOUZA, 2005).

Embora a estatística multivariada tenha surgido por volta de 1901, apenas atualmente consegue-se desenvolver e aplicar essa técnica com o auxílio de programas computacionais que permitem, de forma rápida e clara, a visualização de gráficos que possibilitam estudar o inter-relacionamento das variáveis (VICINI e SOUZA, 2005).

A análise multivariada compõe um conjunto de técnicas para uma análise de dados que está sempre em expansão e que engloba um vasto domínio de possíveis situações de pesquisa, sendo que, dentre as técnicas estabelecidas, estão a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Correspondência Canônica (ACC) (HAIR JR. et al., 2009).

A análise de componentes principais (ACP) encontra-se entre as mais importantes ferramentas da análise multivariada, inclusive por constituir a base onde se fundamenta a maioria dos outros métodos multivariados de análise de dados. Como uma ferramenta de análise exploratória, permite revelar a existência ou não de amostras anômalas, de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras (LYRA et al., 2010).

A ACP é usada para analisar inter-relações entre um grande número de variáveis e explicar estas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns. Tem como objetivo encontrar um meio de condensar a informação contida em diversas variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas, com perda mínima de informação (HAIR JR. et al., 2009).

Sob o ponto de vista formal, fazer uma análise de componentes principais é realizar uma mudança da base do espaço vetorial do conjunto de dados, onde cada objeto, que era representado num espaço N-dimensional definido pelas N variáveis, passa a ser representado por N componentes principais (LYRA et al., 2010). A ACP sintetiza a variação multidimensional dos dados analisados em um diagrama, ordenando-os nos eixos de acordo com suas similaridades, em termos de variáveis utilizadas (ALVARENGA e DAVIDE, 1999).

Na matriz de componentes gerada pela ACP, visualiza-se um gráfico de eixos (componentes) perpendiculares (autovetores) que representam a variação dos dados e cujo comprimento (autovalor) corresponde à sua contribuição à variância total dos dados (VALENTIN, 2000 apud SOUZA, 2013). O ângulo entre determinada seta e cada eixo de ordenação representa um grau de correlação com o eixo (SOUZA, 1996 apud ALVARENGA e DAVIDE, 1999).

Algumas vezes não é necessário recuperar uma quantidade elevada da informação, mas sim recuperar a parte da informação relevante ao problema que está sendo estudado. A ACP é uma técnica de reconhecimento de padrões, e não uma técnica de classificação, onde apenas é ilustrada a relação entre os elementos no gráfico de escores, não sendo dito em absoluto como classificá-los (LYRA et al., 2010).

Como na ACP não existe teste de significância, esta deve ser usada para explorar os dados (FELFILI et al., 2011 apud SOUZA, 2013) e selecionar variáveis, já que muitas variáveis podem ser descartadas em virtude de acrescentarem pouco significado à interpretação dos dados (MOITA NETO e MOITA, 1998).

A análise de correspondência canônica (ACC) também é um método fatorial que leva a representações gráficas e, por isso, tem traços comuns com a ACP. O que diferencia a ACP é que ela trata exclusivamente de variáveis numéricas que desempenham o mesmo papel; enquanto nas análises canônicas, as variáveis são repartidas em grupos bem distintos (BOUROCHE e SAPORTA, 1982 apud VICINI e SOUZA, 2005).

A análise de correspondência canônica é uma técnica de ordenação usada principalmente em pesquisas ecológicas para estudar as relações espécies-ambientes. São avaliadas as relações entre dois grupos de variáveis: o primeiro grupo consiste de variáveis dependentes múltiplas de interesse direto; e o segundo é composto de variáveis que supostamente influenciam as variáveis do primeiro grupo. O principal objetivo é determinar quais variáveis dependentes (ou suas combinações) são mais influenciadas e estimar os efeitos das variáveis explanatórias (ou suas combinações) que mais influenciam o grupo de variáveis resultantes de interesse (SOUZA, 2002).

Geralmente, aplica-se a análise de correspondência canônica quando se quer compreender as inter-relações entre o primeiro conjunto de variáveis, que descrevem um grupo de espécies, com um segundo conjunto de variáveis, relacionadas às

condições ambientais, observadas em um mesmo local ou unidade amostral (LEGENDRE e LEGENDRE, 1998 apud RODRIGUES, 2012).

Nesta técnica de ordenação, são plotados pontos referentes a objetos ou indivíduos em eixos representando uma relação ordenada ou formando um diagrama de dispersão com dois ou mais eixos (LEGENDRE e LEGENDRE, 1998 apud RODRIGUES 2012).

A maior vantagem da ACC sobre todos os outros métodos de análise multivariada é admitir um teste de significância das variáveis ambientais na determinação dos padrões ambientais através do teste de Monte Carlo (HOPE, 1968, citado por TER BRAAK, 1988 apud SOUSA, 2002), testando os eixos associados com as variáveis, usando os autovalores como teste estatístico (SMITH, 1995 apud SOUSA, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Bambuí-MG, o qual apresenta grande concentração de povoados de ocorrência natural de macaúba espalhados por todo o seu território. Para viabilizar a pesquisa, foi escolhida como área de estudo a parte da microbacia do rio Perdição pertencente ao município de Bambuí, uma vez que este rio compõe parte da divisa entre os municípios de Bambuí e Tapiraí e toda a divisa entre Bambuí e Córrego Danta, sendo estes três municípios reconhecidos regionalmente como áreas de grande concentração de macaubais de ocorrência espontânea.

Utilizando imagens de satélite (GOOGLE EARTH, 2016), foi possível localizar o divisor de águas a partir do relevo e assim delimitar a área da microbacia, seguindo o fluxo da rede de drenagem, a qual compreende um total de 5.247,96 ha e fica entre as coordenadas UTM X=396414 Y=7795397 e X=416974 Y=7796517. A Figura 3.1 mostra a área da microbacia estudada do rio Perdição, destacando os sítios avaliados.

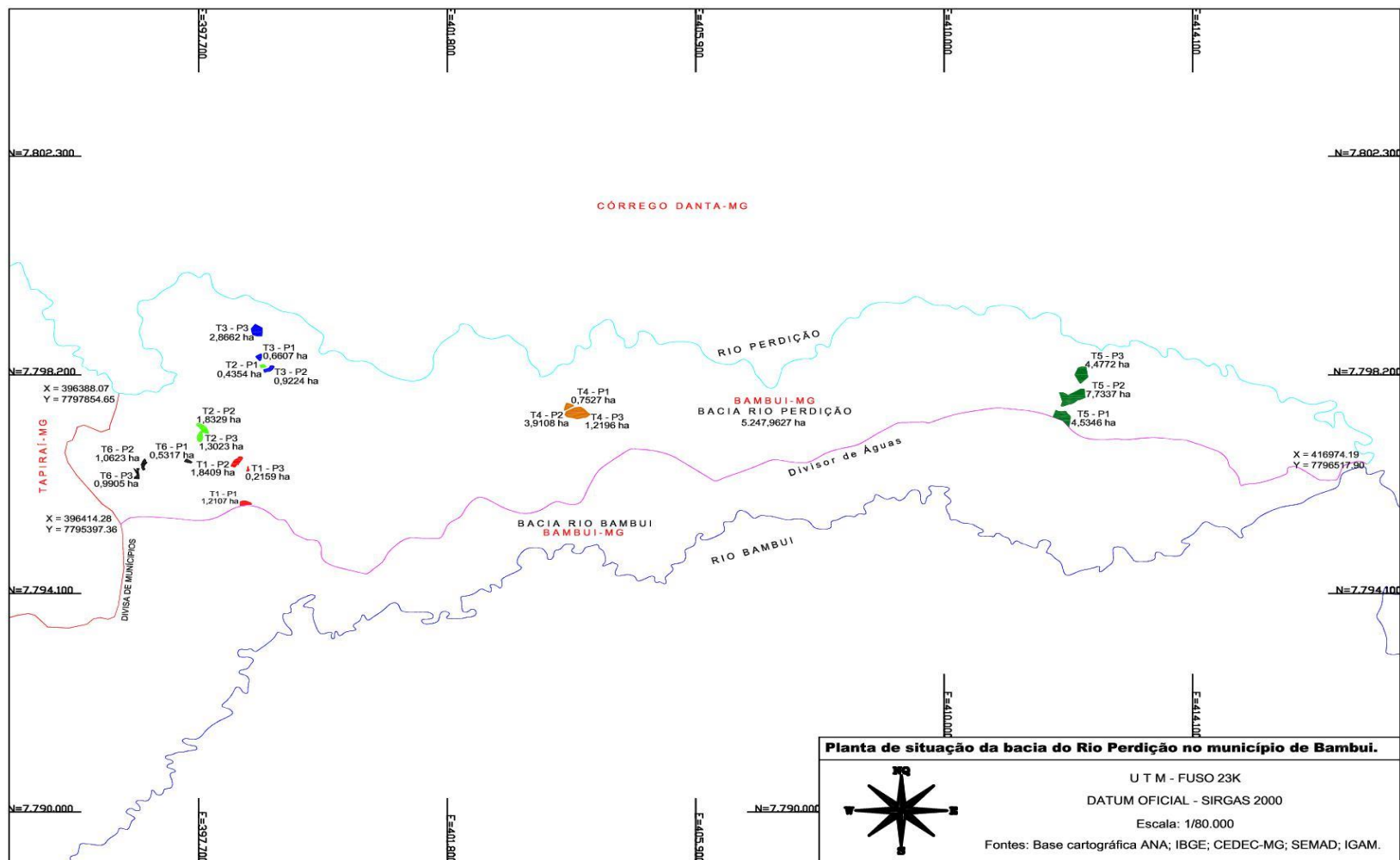


Figura 3.1- Planta de situação da microbacia do rio Perdição, área pertencente ao município de Bambuí-MG, destacando-se os sítios estudados. Autor: Impacto Engenharia e Consultoria LTDA. (2016).

Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima do município de Bambuí é definido como tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 21 °C, sendo a média máxima anual de 28,5 °C e a média mínima anual de 14,6 °C, com meses mais frios de abril a agosto, podendo alcançar 5 °C em junho e julho, quando podem ocorrer geadas. A precipitação pluviométrica anual é de 1.500 mm, em média, conforme dados climáticos da Estação Climatológica de Bambuí. A altitude máxima do município é de 918 m, e a mínima, de 637 m (FARIA, 2013; BARBOSA, 2011). Na área estudada da microbacia, os solos são classificados, de um modo geral, como Cambissolos, Neossolos e Latossolos.

3.2 Seleção dos sítios amostrados

Entre janeiro e fevereiro de 2016, foram feitos vários deslocamentos com o intuito de reconhecimento, por toda a área da microbacia, onde foram localizados diversos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba habitando diferentes ambientes.

Considerando como hipótese que o perfil das encostas se altera gradativamente ao longo do relevo, resultando em sucessões de diferentes tipos de solos, ou seja, que as classes de solos variam ao longo da topossequência, foi verificada a ocorrência natural de macaúba ao longo das encostas, para a escolha dos sítios de amostragem.

Foram estudadas 6 encostas de morro (T1, T2, T3, T4, T5 e T6). Em cada uma delas, delimitaram-se 3 porções (ou superfícies) de solos, seguindo o conceito de topossequência. Para cada encosta, essas porções se conectam, formando uma faixa contínua de solos no sentido do declive, descendo do topo do morro ou terço superior da encosta (P1), passando pela meia-encosta (P2), até o sopé ou terço inferior da encosta (P3). Portanto, foram amostrados 18 sítios (6 sítios de topo, 6 sítios de meia-encosta e 6 sítios de sopé).

A Figura 3.2 mostra as topossequências estudadas, nas suas três porções de relevo, detalhando os povoamentos de macaúba amostrados.

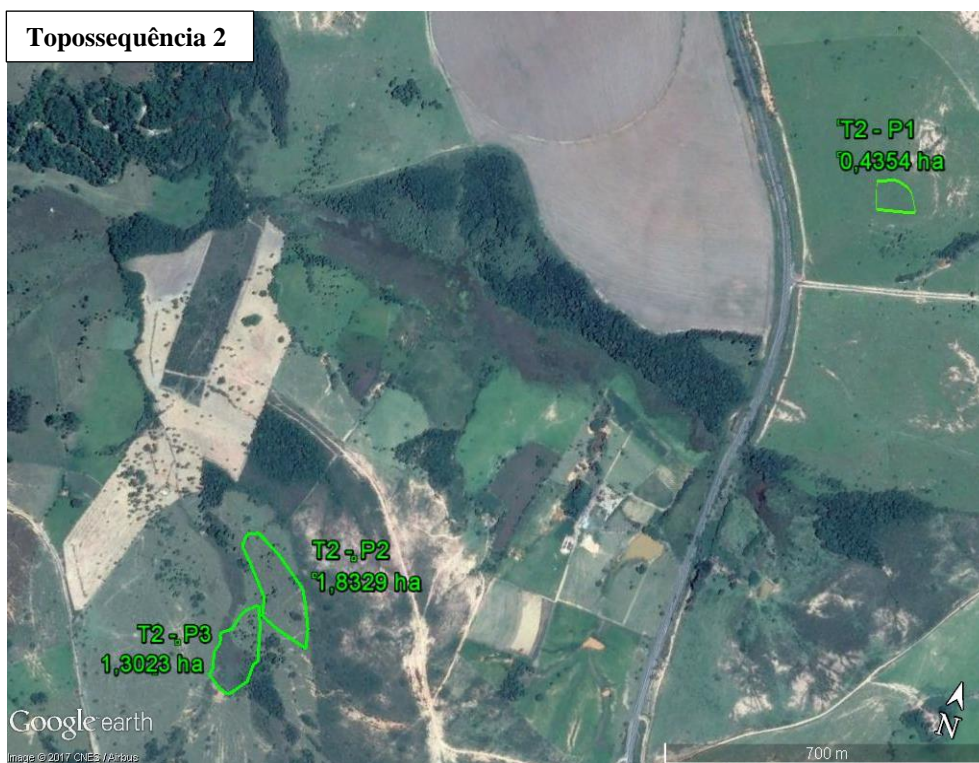
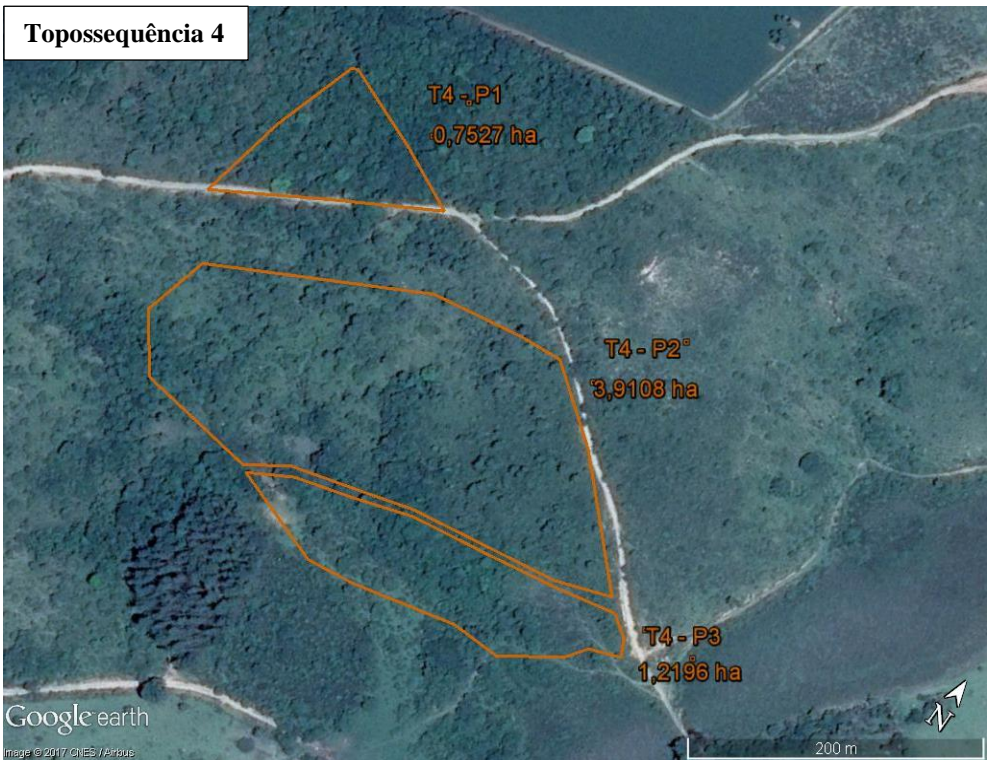


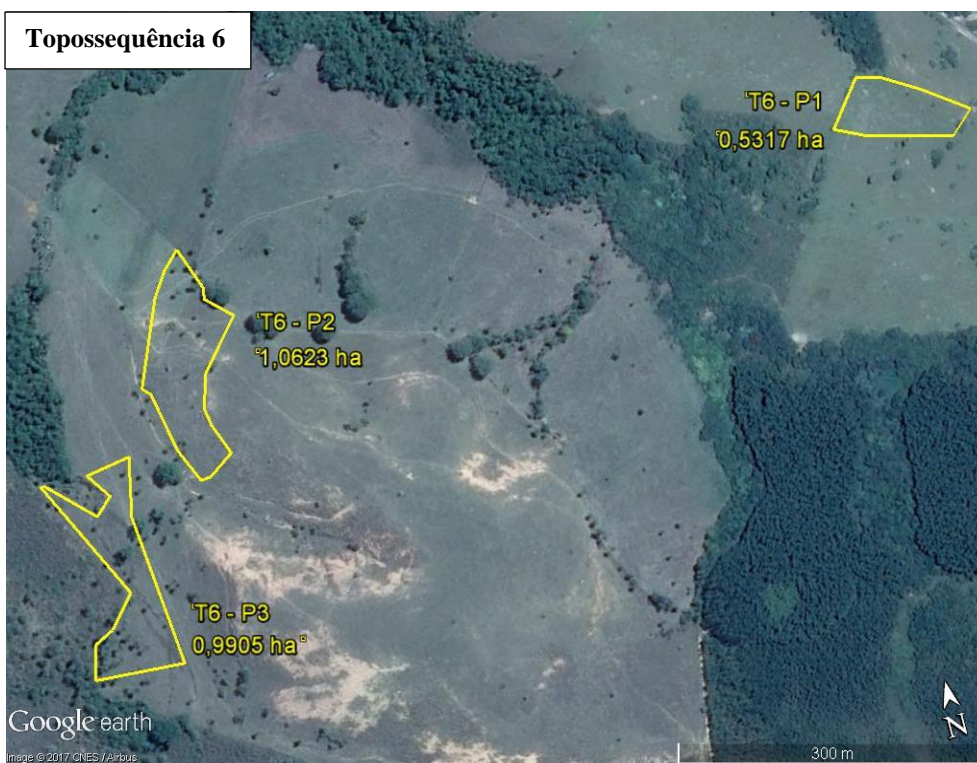
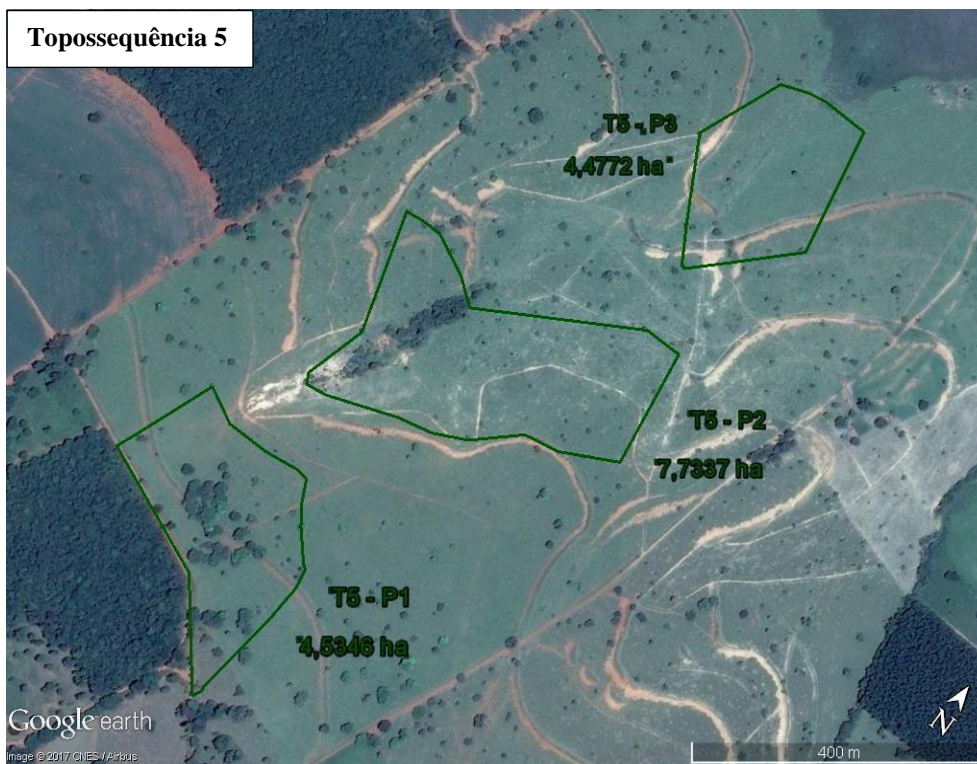
Figura 3.2- Topossequências 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com destaque para as porções 1, 2 e 3 do relevo, com povoadamentos nativos de macaúba, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, 2016.

(Continua...)



‘Figura 3.2- ... Continuação’



‘Figura 3.2- ... Continuação’

A seleção das encostas e respectivas topossequências teve como princípios: 1) presença de povoamentos de ocorrência espontânea de macaúbas adultas em todas as 3 porções de cada topossequência; 2) a) solos de topo, superfície convexa, menos erodidos, normalmente ocupados por vegetação variando de campo cerrado a cerrado típico; b) solos de meia-encosta, superfície côncava, mais erodidos, mais rasos, mais novos e menos intemperizados, típicos de vegetação de campo cerrado; e c) solos de sopé (terço inferior da encosta), superfície aplainada, relevo pouco inclinado, com depósitos coluvionares, mais férteis quimicamente, mais úmidos e mais profundos, normalmente ocupados por vegetação de transição cerrado-mata ciliar.

Objetivando a padronização da amostragem, optou-se pela coleta de solos no horizonte A, uma vez que foi encontrada, na área da microbacia, além de outros tipos, a predominância de solos sem horizonte B.

No presente estudo, apenas foram utilizadas áreas que apresentaram solos mais preservados e que não foram revolvidos, pelo menos nos últimos 10 anos, para fins de manejo e plantio. Assim, muitos locais que possuem representativos povoamentos nativos de macaúba, dentro da área da microbacia, não puderam ser incluídos na pesquisa.

Observou-se que a maioria dos topos das elevações, na microbacia, é constituída de solos rasos (Cambissolos e Neossolos) que sofreram fortes processos erosivos, dificultando a amostragem de um número maior de topossequências, uma vez que cada uma delas deve representar solos com idades e desenvolvimento diferenciados, coerentes com as três porções do relevo.

Algumas topossequências não puderam ter as três porções amostradas numa mesma encosta, também pelo mesmo motivo já exposto anteriormente, em se tratando das porções de topo, sendo necessário amostrá-las em outras encostas de características semelhantes.

3.3 Trabalho de campo e análises de laboratório

Após locados os 18 sítios, a caracterização ambiental local foi realizada por meio da coleta de informações diversas, tais como: data da observação, coordenadas geográficas, altitude, relevo, fitofisionomia, uso atual do solo e histórico de uso do solo.

As informações foram obtidas com a ajuda de um aparelho de GPS (Garmin 76MAP CSX), a partir de observações *in loco*, através de entrevistas com diversos produtores rurais moradores das regiões onde ocorrem os povoamentos naturais de macaúba e em consultas bibliográficas. Para o cálculo das áreas amostradas, em hectares, também foi utilizado o aparelho de GPS. Não foram feitas coletas de material vegetal, apenas observações.

Realizou-se um reconhecimento de espécies vegetais que ocorreram junto aos povoamentos de macaúba, baseado em características dendrológicas. Após demarcada a área de cada sítio, foram feitas caminhadas dentro e no entorno dos macaubais, onde foram reconhecidas, com a ajuda de um mateiro, pelos nomes comuns, as espécies vegetais encontradas. Esse levantamento foi feito a esmo, ou seja, sem um padrão definido, e com o objetivo de representar o maior número possível de espécies presentes nos macaubais. A finalização do procedimento de reconhecimento dendrológico das espécies encontradas foi realizada posteriormente, por meio de consulta em material bibliográfico especializado e com a ajuda de um profissional para relacionar os nomes populares aos nomes científicos correspondentes.

Para a caracterização química dos solos, em cada sítio foram coletadas 3 amostras, em pontos distintos, cada uma constituída pela mistura de 10 subamostras, locadas ao acaso. Para a coleta, foram abertas minitrincheiras de dimensões suficientes para distinguir o horizonte A do solo e proceder à retirada da amostra. Com o auxílio de uma faca de aço inoxidável a amostra foi retirada e foi descartada a face do solo que teve contato com a cavadeira, para evitar contaminações. As subamostras foram reunidas em um balde de material plástico e, depois de homogeneizadas, uma porção de aproximadamente 1 kg (amostra composta) foi acondicionada em saco plástico devidamente identificado, que foi mantido em local sombreado até o envio ao laboratório para análise.

O período de coleta se estendeu de março a maio de 2016. As análises foram feitas pelo Laboratório de Análises de Solos do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí, onde foram verificados os seguintes atributos: macronutrientes: fósforo (P- Mehlich I), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Também foram determinados pH (H₂O), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al),

soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica (M.O.), carbono orgânico (C.O.) e fósforo remanescente (P rem), além das seguintes relações entre as bases: Ca/T, Mg/T, K/T, H+Al/T, Ca+Mg/T, Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K, as quais não foram avaliadas no presente estudo, já que tais variáveis, por apresentarem altas correlações, tendem a repetir, de certa forma, a informação obtida.

A análise física se deu por determinação da classe textural do solo, a partir dos teores de areia, silte e argila, e, em campo, foi feita a mensuração da espessura do horizonte A, em centímetros.

Nos povoamentos nativos de macaúba, foram avaliados apenas os indivíduos adultos em fase de produção, ou seja, que na época da coleta de dados apresentavam frutos, não sendo mensurados indivíduos jovens nem mortos. A mensuração das variáveis biométricas se deu entre junho e agosto de 2016.

Foram mensurados o número de indivíduos em cada sítio amostrado (n), o número de cachos por indivíduo (Nº Cachos), o número de folhas por indivíduo (Nº Folhas) e a altura de cada indivíduo. A partir da área calculada em hectares, foi possível determinar o número de indivíduos por hectare presente em cada sítio amostrado (n/ha). Diante da diversidade do número de cocos presente em cada cacho, foi considerado qualquer cacho que apresentasse número de cocos maior ou igual a um. A altura foi determinada com o auxílio de clinômetro digital, considerando-se a base da palmeira até a inserção das folhas mais altas no estipe.

Constatou-se, em campo, que os indivíduos mais altos e, provavelmente, mais velhos, apresentavam menor número de remanescentes da base das bainhas foliares no tronco e, muitas vezes, já nem os tinham mais. Já, ao contrário, os indivíduos mais baixos e, provavelmente, mais novos, conservavam maior número destes remanescentes nos troncos. Portanto, considerando que esta é uma característica inerente à espécie e a fim de não se obter um falso valor de diâmetro, optou-se por não mensurar esta variável nesta pesquisa.

3.4 Análises estatísticas aplicadas

Foram realizadas análises estatísticas descritivas usando as variáveis edáficas e os parâmetros fitossociológicos em termos de média e desvio padrão, a fim de descrever tais características e avaliar se existem diferenças quanto às variáveis em relação às três porções do relevo estudadas.

Na análise estatística multivariada, foram utilizadas as matrizes de dados de parâmetros fitossociológicos, variáveis edáficas e unidades amostrais. Realizaram-se a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Correspondência Canônica (ACC) para verificar as correlações entre as variáveis e para possibilitar uma visualização conjunta das variáveis que mais influenciaram na relação entre os solos e os parâmetros fitossociológicos, além de verificar a relação destes atributos com a distribuição dos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba ao longo das três porções do relevo. O teste de permutação de Monte Carlo (999 permutações) verificou a significância das correlações entre as variáveis edáficas e os parâmetros fitossociológicos.

Todas as análises foram realizadas utilizando-se os softwares Microsoft Office Excel (2010) e RStudio Desktop 1.0.136 (RSTUDIO TEAM, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Identificação, localização e caracterização ambiental

Observou-se um grande número de povoamentos naturais de macaúba espalhados por toda a área da microbacia do rio Perdição, habitando as várias porções do relevo. Também se notou um expressivo número de indivíduos, habitando isoladamente ou em pequenos grupos, em diversos pontos a esmo.

Percebeu-se maior concentração de povoamentos a montante do rio, sendo que o número de aglomerações diminui no sentido da foz. O relevo mais plano nas proximidades da foz é intensamente utilizado para a atividade pecuária, com rotação

para lavouras, fato que pode ter contribuído para a eliminação principalmente de indivíduos jovens de macaúba, uma vez que a terra é manejada com arações, herbicidas e, periodicamente, com a limpeza mecânica do pasto com roçadas.

Quanto à topografia, os sítios estão sobre relevos variando de planos a ondulados, não ocorrendo, dentro da microbacia, áreas com relevos fortemente ondulados ou acidentados.

Os sítios amostrados foram georreferenciados (Tabela 4.1). Encontraram-se povoamentos nativos de macaúba entre as altitudes de 649 m e 727 m, confirmando Teles (2009), que identificou populações em Goiás com altitude variando de 600 m até o máximo de quase 800 m. Adicionalmente, Berton (2013) afirma que a macaúba ocorre numa ampla faixa de altitude, variando de zero a 1400 m.

Quanto à fitofisionomia, as topossequências amostradas eram ocupadas originalmente por cerradão, cerrado típico e campo cerrado (Tabela 4.1). Dentre tais ambientes, apenas o cerradão constitui uma formação florestal, caracterizando-se pela presença de espécies que ocorrem no cerrado sentido restrito e também por espécies de mata. Do ponto de vista fisionômico, é uma floresta, mas floristicamente é mais similar a um cerrado (RIBEIRO e WALTER, 1998 apud BORGES, 2012).

São compreensíveis as observações de Motta et al. (2002), de que a distribuição da macaúba, no estado de Minas Gerais, evita solos sob vegetação primitiva das fitofisionomias cerrado ou campo, ocorrendo apenas quando a vegetação primitiva é de floresta subcaducifólia, embora muitas espécies de mata possam ocorrer, de forma natural, em cerrado sentido restrito. Contudo, pode-se observar que atualmente, no município de Bambuí e seu entorno, a macaúba ocorre em áreas com fitofisionomias variando do cerradão, cerrado típico, campo cerrado até o campo sujo. A espécie não foi observada apenas no campo limpo de altitude e nas formações com afloramentos rochosos, contendo cerrado rupestre e campo rupestre.

Quanto ao uso atual do solo, observa-se, na Tabela 4.1, que, à exceção da topossequência 4, a qual é utilizada como reserva legal, todas as topossequências tiveram o uso do solo totalmente alterado para fins de pastagem. Diferentemente das demais, as porções 2 e 3 da topossequência 1 são usadas como pastagem mal formada, ou seja, consistem em áreas parcialmente desmatadas que conservam parte da gramínea nativa como cobertura do solo. Percebeu-se que nas topossequências 3 e 5 já foram

usadas, em algum momento, técnicas de conservação do solo, já que elas apresentam marcas de terraceamento. Tomou-se o cuidado de não amostrar os solos nestas marcas, tendo em vista o seu revolvimento para a construção dos terraços.

Tabela 4.1: Identificação, localização, altitude, fitofisionomia e uso atual do solo dos sítios amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Top.	P	Coord.Geográficas		Alt. (m)	Fitofisionomia	Uso atual do solo
		(UTM)				
		X	Y			
1	1	0398410	7795824	727	Cerrado típico	Pastagem plantada
	2	0398267	7796562	709	Cerrado típico	Pastagem mal formada
	3	0398533	7796397	698	Cerrado típico	Pastagem mal formada
2	1	0398745	7798393	712	Campo cerrado	Pastagem plantada
	2	0397759	7797269	691	Campo cerrado	Pastagem plantada
	3	0397712	7797120	670	Campo cerrado	Pastagem plantada
3	1	0398730	7798501	712	Campo cerrado	Pastagem plantada
	2	0398810	7798306	685	Campo cerrado	Pastagem plantada
	3	0398690	7799111	649	Campo cerrado	Pastagem plantada
4	1	0403742	7797555	693	Cerrado típico	Reserva em regeneração
	2	0404056	7797546	685	Cerrado típico	Reserva em regeneração
	3	0404037	7797400	669	Cerrado típico	Reserva em regeneração
5	1	0411811	7797436	706	Cerradão	Pastagem plantada
	2	0411930	7797622	677	Cerradão	Pastagem plantada
	3	0412211	7798328	650	Cerradão	Pastagem plantada
6	1	0397477	7796593	698	Campo cerrado	Pastagem plantada
	2	0396808	7796499	680	Campo cerrado	Pastagem plantada
	3	0396672	7796360	672	Campo cerrado	Pastagem plantada

Top.: Topossequência ; **P:** porções do relevo amostradas, onde: **1=** topo; **2=** meia-encosta; **3=** sopé; **Coord. Geográficas:** Coordenadas geográficas; **Alt.:** Altitude.

Apenas as topossequências 3 e 5 apresentam histórico de adubação, uma vez que, tradicionalmente, a maioria dos pecuaristas da região faz a implantação das pastagens sem a utilização de técnicas adequadas, ou seja, somente a partir do desmatamento, aração do solo e semeadura direta da gramínea. Sobre as pastagens do município de Bambuí, Faria (2013) ressalta que constituem comunidades vegetais relativamente degradadas e ocupam áreas significativas das propriedades. O rebanho é mantido em pastagens naturais e pastagens cultivadas, em solos de baixa fertilidade natural e, muitas vezes, sem receber de forma correta os corretivos e fertilizantes. A ausência desses insumos e o manejo inadequado dos animais, das gramíneas e dos solos são as principais causas de degradação das pastagens.

A grande maioria dos povoamentos de macaúba avaliados vegeta áreas de pastagem. Especialmente as pastagens mais extensivas e menos renovadas parecem facilitar a expansão desta espécie na região. A antropização destas áreas, atualmente em

estágio inicial de regeneração por espécies arbustivas e arbóreas do Cerrado, parece estar favorecendo a colonização da macaúba. Esses fatos reforçam o potencial para a utilização da espécie em sistemas de recomposição de áreas de reservas legais, áreas de preservação permanente, incluindo sistemas agrossilvipastoris. A partir desta utilização, pode-se ter benefícios como a melhoria no microclima das áreas de pastagem, a conservação dos solos por meio da contenção de erosões, e a geração de renda extra através da exploração dos produtos e coprodutos da macaúba (BERTON, 2013).

A Tabela 4.2 relata as espécies vegetais identificadas, habitando junto aos povoamentos nativos de macaúba estudados.

Tabela 4.2: Espécies vegetais identificadas habitando junto aos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba, nos sítios amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Nome comum	Nome científico	Família
Abacaxi do mato	<i>Ananas ananassoides</i> (Baker) L. B. Sm.	Bromeliaceae
Tamboril	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae
Assa-peixe	<i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H. Rob.	Asteraceae
Alecrim	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Asteraceae
Pindaíba	<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.	Annonaceae
Sucupira-preta	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae
Mama-cadela	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae
Chapadinha do cerrado	<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev	Fabaceae
Pimenta de macaco	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Annonaceae
Candeinha do campo	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Cabrera) G. Sancho	Asteraceae
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae
Mandioqueira	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	Araliaceae
Pombeiro	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae
Barbatimão	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Fabaceae
Cagaiteira	<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	Myrtaceae
Gabirola	<i>Campomanesia pubescens</i> (DC.) O. Berg	Myrtaceae
Murici	<i>Byrsonima verbacifolia</i> (L.) Rich	Malpighiaceae
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i> (Ders.) Cogn.	Melastomataceae
Araçá	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Myrtaceae
Jacarandá-do-Cerrado	<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Fabaceae
Lobeira	<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	Solanaceae
Peroba-branca	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	Sapotaceae
Goiabeira	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae
Açoita cavalo	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Malvaceae
Aroeirinha sapecadeira	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Anacardiaceae
Erva de lagarto	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Salicaceae
Ipê amarelo do cerrado	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Bignoniaceae
Araticum cagão	<i>Annona cacans</i> Warm.	Annonaceae
Camboatá-branco	<i>Matayba juglandifolia</i> (Cambess.) Radlk.	Sapindaceae
Pau de óleo	<i>Capaifera Langsdorffii</i> Desf.	Fabaceae
Maminha de porca	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Rutaceae
Sangra d'água	<i>Croton urucurana</i> Baill.	Euphorbiaceae
Limão	<i>Citrus x limonia</i> L.	Rutaceae
Pombeiro	<i>Cytharexylum myrianthum</i> Cham.	Verbenaceae
Imbaúba	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Urticaceae
Pau terra	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae
Jantar	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	Combretaceae

A partir do reconhecimento de espécies vegetais realizado, foi possível observar a expressiva ocorrência de diferentes espécies junto aos macaubais, principalmente em se tratando de regeneração natural nativa do Cerrado. As topossequências 3, 5 e 6 tiveram uma expressão menor desta regeneração, em virtude do manejo periódico da pastagem (roçada do pasto).

4.2 Aspectos ecológicos da macaúba

Os trabalhos de campo foram realizados entre março e agosto de 2016, e, neste período, todos os cachos avaliados se encontravam com os frutos verdes. Não foram identificadas inflorescências em nenhuma área avaliada. Também não foi encontrada sobreposição de produção, ao contrário do que foi observado por Berton (2013), que encontrou indivíduos apresentando cachos caindo, maduros, granados, inflorescência e emissão de novas espatas. Estudando as fenofases vegetativas e reprodutivas da macaúba, no norte do estado de Minas Gerais, Rodrigues et al. (2008) observaram que a maior incidência de flores se deu no mês de novembro, e que o processo de formação e amadurecimento dos frutos da macaúba se estendeu por vários meses.

O número de cocos nos cachos variou consideravelmente, indo de cachos mal granados até superlotados de frutos. Selecionando caracteres para orientar e direcionar programas de melhoramento genético da macaúba para fins de exploração comercial, Berton (2013) pressupôs que, numa mesma população, indivíduos com cachos mais recobertos de frutos são superiores em relação àqueles com cachos falhados ao longo dos ciclos de produção, pois provavelmente todos eles sofreram semelhantes pressões do ambiente ao longo do período de formação dos cachos. Nutrição, idade da planta, polinização deficiente, estiagem, competição entre plantas, ataque de insetos e doenças, dentre outros, podem causar aborto e contribuir para a redução do número de frutos por cacho, além de fatores genéticos que podem estar envolvidos (BERTON, 2013).

Em observações de campo, no presente trabalho, percebeu-se que indivíduos que apresentaram maior produção de cachos aparentemente também apresentaram maiores comprimentos de folhas. As populações mais adensadas tiveram indivíduos com menor número de folhas, o que é de se esperar diante da competição por luz solar, água e nutrientes do solo.

Utilizada como fonte de alimento para diferentes tipos de animais e refúgio para diversas espécies de aves, servindo como alimento e nidificação (BERTON, 2013), a macaúba também é usada como apoio para epífitas, como pode ser observado na Figura 4.1.



Figura 4.1- Indivíduo de macaúba servindo como apoio para epífita, em um sítio avaliado na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.
Fonte: Própria autora (2016).

A Figura 4.2 ilustra a característica de tolerância ao fogo de um povoamento de macaúba (LORENZI et al., 1996; CETEC, 1983), em ocorrência de incêndio numa lavoura de cana-de-açúcar no município de Bambuí, no mês de agosto de 2016.

Além dos animais que se alimentam dos seus frutos (MOURA, 2007), verificou-se que a enxurrada que escorre pelas pastagens é também responsável pela dispersão das sementes de macaúba, já que ela consegue carrear os frutos e as sementes a distâncias variáveis (Figura 4.3).



Figura 4.2- Tolerância ao fogo de um povoamento de macaúba, em incêndio em uma lavoura de cana-de-açúcar no município de Bambuí, no mês de agosto de 2016.
Fonte: Própria autora (2016).



Figura 4.3 – Sementes de macaúba com endocarpo, carregadas pela enxurrada em um dos sítios avaliados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.
Fonte: Própria autora (2016).

4.3 Povoamentos de macaúba

4.3.1 Características gerais

No total, foram encontrados e mensurados 369 indivíduos de macaúba, distribuídos entre as três porções do relevo estudadas nesta pesquisa.

As áreas das porções apresentaram tamanhos variados em virtude de terem sido delimitadas em função do critério estabelecido para inclusão dos povoamentos de macaúba, que exigia a presença de indivíduos adultos em produção, vegetando em qualquer quantidade, sobre solos que apresentassem satisfatórios níveis de conservação.

Houve dificuldade em encontrar povoamentos na posição de topo da paisagem com condições razoáveis de conservação dos solos. Por isso, foi necessário trabalhar, nas topossequências 2, 3 e 6, utilizando topos com apenas 1, 2 e 3 indivíduos, respectivamente.

A Tabela 4.3 mostra as características gerais das três porções do relevo, de cada topossequência estudada, e respectivos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba.

Destaca-se a ocorrência, na meia-encosta da topossequência 4, de um povoamento com 47 indivíduos de macaúba amostrados (maioria absoluta, mas não em densidade populacional). Esta área apresenta-se em estágio secundário de regeneração, o que evidencia o pioneirismo da macaúba, confirmando Lorenzi (2002), que esta espécie tem dispersão maior, porém descontínua, em formações secundárias, como capoeiras e capoeirões.

Percebe-se que o menor número de indivíduos sempre se deu nas posições de topo, à exceção da topossequência 5, reforçando a afirmação de Motta et al. (2002), de que a macaúba se localiza principalmente em encostas de morros indo até posições baixas, nunca se localizando no topo da paisagem. Contudo, pode ser observada, em campo, a ocorrência dessa espécie também em todos os topos das topossequências estudadas (principalmente na topossequência 5) e a expressiva colonização da macaúba em posições baixas da paisagem, contrastando com a parte intermediária das encostas, como pode ser visto nas topossequências 1, 3 e 6, tomando-se como base o número de indivíduos por hectare.

Quanto à densidade, a topossequência 1, na porção 3 (sopé), foi a que apresentou povoamento mais adensado, com 129,69 indivíduos ha^{-1} ; enquanto o topo (porção 1) da topossequência 2 apresentou a menor densidade, com 2,30 indivíduos ha^{-1} .

Tabela 4.3: Características gerais das porções do relevo que abrigam os povoamentos de macaúba amostrados em cada topossequência, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Topossequência	Porção	Área (ha)	n	Densidade (n ha^{-1})
1	1	1,2107	5	4,13
	2	1,8409	22	11,95
	3	0,2159	28	129,69
2	1	0,4354	1	2,30
	2	1,8329	41	22,37
	3	1,3023	36	27,64
3	1	0,6607	2	3,03
	2	0,9224	11	11,93
	3	2,8662	45	15,70
4	1	0,7527	16	21,26
	2	3,9108	47	12,02
	3	1,2196	7	5,74
5	1	4,5346	23	5,07
	2	7,7337	20	2,59
	3	4,4772	12	2,68
6	1	0,5317	3	5,64
	2	1,0623	17	16,00
	3	0,9905	33	33,32

Porção: porções do relevo amostradas, onde: **1**= topo; **2**= meia-encosta; **3**= sopé; **n:** número de indivíduos amostrados em cada porção da topossequência; **n ha^{-1} :** número de indivíduos por hectare em cada porção da topossequência.

4.3.2 Parâmetros fitossociológicos

Para verificar se existem diferenças quanto aos parâmetros fitossociológicos dos povoamentos de macaúba em relação às três porções do relevo avaliadas, as variáveis biométricas foram descritas em termos de média e desvio padrão (Tabela 4.4).

Observa-se que a densidade de plantas foi de 6,90, 12,81 e 35,79 indivíduos por hectare para as porções de topo, meia-encosta e sopé, respectivamente. Pode-se perceber, confrontando as médias e respectivos desvios padrões, que não existe diferença na ocorrência de macaúba ao longo do relevo, embora haja uma aparente preferência da espécie por posições médias e baixas da paisagem.

A altura média dos indivíduos presentes na porção de topo foi de 9,18 m; na meia-encosta, 8,80 m; e no sopé, 10,23 m. Em populações nos estados de São Paulo e Minas Gerais, Berton (2013) encontrou palmeiras variando de 3 a 13 m. Na região de Corumbá, Mato Grosso do Sul, Vianna (2011) relatou plantas com estipe variando de 2 a 9 m. Já Teles (2009) encontrou média geral para a altura das palmeiras de 5,5 m em populações nativas no estado de Goiás.

O intervalo para altura na porção de topo está entre 7,19 m e 11,17 m; para a meia-encosta, o intervalo é de 6,60 m a 11,00 m; e, para o sopé, está entre 7,61 m e 12,85 m. Tais resultados mostram que não existe diferença na altura dos indivíduos em relação às porções do relevo, mas há tendência a maiores alturas dos indivíduos presentes em posições mais baixas (sopé). Segundo Berton (2013), a altura é importante do ponto de vista agrônômico, pois genótipos que apresentam porte baixo podem ser mais bem manejados, facilitando a coleta de frutos, observações do estado fitossanitário e demais tratamentos culturais da planta.

O número médio de cachos por indivíduo foi de 3,86, 3,21 e 3,70 para as porções de topo, meia-encosta e sopé, respectivamente. Corroborando, Teles (2009) encontrou número médio de 3,2 cachos por planta. Já Berton (2013) encontrou média superior, na ordem de 6,4 cachos por planta. Considerando os intervalos para o número de cachos por indivíduo em relação às porções do relevo (2,36 a 5,36 para o topo; 1,67 a 4,75 para a meia-encosta; e 2,17 a 5,23 para o sopé), percebe-se tendência nos indivíduos presentes na porção de meia-encosta a apresentarem número inferior de cachos, porém, não existe diferença quanto ao número de cachos em relação à posição na paisagem. Conforme Berton (2013), o caráter número de cachos é um dos principais descritores para seleção de genótipos superiores, devendo-se considerar também o número de frutos por cacho e sua massa, bem como a estabilidade da produção ao longo dos anos.

Quanto ao número de folhas por indivíduo, as médias encontradas para as posições de topo, meia-encosta e sopé foram de 19,18, 17,75 e 18,42, respectivamente. Berton (2013) encontrou variação de 14 até 34 folhas nos macaubais avaliados, enquanto Lorenzi (2002) afirma que a macaúba possui de 20 a 30 folhas. Para a posição de topo, o intervalo para o número de folhas por indivíduo é de 16,05 a 22,31. Na meia-encosta, o intervalo é de 14,21 a 21,29, e, no sopé, está entre 15,29 e 21,55 folhas por indivíduo. Embora não exista diferença quanto ao número de folhas por indivíduo em

relação às porções do relevo, na porção de meia-encosta, as plantas tendem a apresentar número de folhas por indivíduo inferior ao das demais porções.

Tabela 4.4: Média e desvio padrão para os parâmetros fitossociológicos dos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba, em relação às diferentes porções do relevo, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Porção	Densidade (n ha ⁻¹)	Altura (m)	Nº Cachos	Nº Folhas
Média				
1	6,90	9,18	3,86	19,18
2	12,81	8,80	3,21	17,75
3	35,79	10,23	3,70	18,42
Desvio Padrão				
1	7,14	1,99	1,50	3,13
2	6,45	2,20	1,54	3,54
3	47,52	2,62	1,53	3,13

Porção: porções do relevo amostradas, onde: **1=** topo; **2=** meia-encosta; **3=** sopé; **n ha⁻¹:** número de indivíduos por hectare.

A macaúba apresenta ampla variabilidade morfológica nas diferentes regiões de ocorrência, sendo que, dentro de uma mesma população, podem ser observados todos os tipos de características morfoagronômicas (BERTON, 2013).

Os parâmetros fitossociológicos podem ser influenciados por diversos fatores, de origem genética, climática e pedológica, atuando isoladamente ou em conjunto, além do efeito da própria idade da planta (TELES, 2009).

De uma maneira geral, o terço médio das encostas apresentou indivíduos mais baixos, com menor número de cachos e menor número de folhas, indicando menor sucesso no desenvolvimento da macaúba. Tal comportamento segue paralelo às características limitantes naturais dos solos da região de estudo, os quais apresentam tais porções do relevo ocupadas por solos menos férteis e bastante degradados.

As porções mais baixas do relevo apresentaram média mais elevada para altura de indivíduos, o que não é favorável quando a intenção é o cultivo comercial da macaúba. Quanto ao número de folhas e cachos por indivíduo, esta porção teve médias que tenderam a serem maiores que a meia-encosta e inferiores ao topo da paisagem.

Quanto à colonização da macaúba na região estudada, pode-se presumir que a modificação antrópica da paisagem por meio da utilização de pastagens formadas por braquiária, onde ocorre aração, calagem e, eventualmente fertilização, criou condições para o povoamento da macaúba, facilitado pela dispersão de suas sementes pelos

bovinos e pela enxurrada. Assim, existe potencial para que a macaúba expanda sua ocorrência por toda a paisagem da região, visto que esta espécie consegue produzir até mesmo nos solos menos férteis de meia-encosta.

4.4 Solos

A fim de verificar se existem diferenças quanto aos atributos edáficos em relação às três porções do relevo onde a macaúba ocorre espontaneamente, as variáveis físicas e químicas do solo foram descritas em termos de média e desvio padrão.

4.4.1 Atributos Físicos

Ao se avaliar isoladamente a média dos dados (Tabela 4.5), observa-se que as porções de topo e meia-encosta têm textura argilosa, e o sopé apresenta textura próxima da classe média, de acordo com Prado (1995). Porém, ao se considerar o desvio padrão, de um modo geral, todas as porções do relevo possuem textura média, evidenciando que não existem diferenças quanto à classe textural, em relação às diferentes porções do relevo, onde a macaúba ocorre espontaneamente.

Motta et al. (2002) e Teles (2009) encontraram populações nativas de macaúba em solos com textura média a argilosa nos estados de Minas Gerais e Goiás, respectivamente. Em cultivos experimentais e comerciais de macaúba na Zona da Mata mineira, tem-se observado melhor adaptação da macaúba a solos de textura média a argilosa (PIMENTEL, 2012).

Solos com textura média apresentam baixa a moderada susceptibilidade à erosão, com médios a baixos valores de retenção de água (PRADO, 1991 apud PRADO, 1995). Contudo, são bastante evidentes nas condições de campo avaliadas, para a maioria dos solos da região, erosões laminares acentuadas e depósitos coluviais, em grande parte não evitados pela precariedade das pastagens.

A espessura média do Horizonte A teve comportamento conforme o esperado, pois, na porção de topo, apresentou-se mais espessa (11,56 cm); na meia-encosta, mostrou-se destacadamente menor (10,58 cm), uma vez que os solos são constantemente erodidos, sofrendo grandes perdas de material. Novamente, exibiu

maior espessura na porção de sopé (12,30 cm), onde existem maiores deposições de materiais.

Tabela 4.5: Média e desvio padrão para os atributos físicos do solo, em relação às diferentes porções do relevo, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Porção	Areia (%)	Argila (%)	Espessura Hz A (cm)
Média			
1	23,51	39,56	11,56
2	19,69	37,91	10,58
3	20,27	35,17	12,30
Desvio padrão			
1	4,58	10,95	4,72
2	3,86	5,83	3,02
3	6,09	5,09	4,44

Porção: porções do relevo amostradas, onde: **1=** topo; **2=** meia-encosta; **3=** sopé; **Hz A:** horizonte A.

Na porção de meia-encosta (P2) da topossequência 4, foi constatada a presença de cascalho no solo (Figura 4.4).



Figura 4.4- Presença de cascalho na porção de meia-encosta (P2) da topossequência 4, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Fonte: Própria autora (2016).

4.4.2 Atributos Químicos

Os atributos químicos analisados são mostrados na Tabela 4.6.

Nas porções de topo, o valor médio de pH variou entre 5,25 e 5,63. Nas porções de meia-encosta, o intervalo foi de 4,95 a 5,57. Para os sopés, esta medida ficou entre 5,11 e 5,43. Conforme Alvarez V. et al. (1999), na interpretação dos resultados de uma análise de solos, o pH é considerado baixo quando está entre 4,5 e 5,4 e é tido como bom quando está entre 5,5 e 6,0; porém, as culturas e os cultivares variam muito na sua capacidade de tolerância ou sensibilidade à acidez, devendo-se interpretar as classes de fertilidade considerando as exigências específicas a cada empreendimento agrícola, pecuário ou florestal.

É possível perceber que existe uma leve tendência dos solos do topo a serem relativamente menos ácidos que os solos das demais porções do relevo. Porém, a característica ácida predomina nos solos estudados, provavelmente pelo fato de as topossequências avaliadas estarem sobre solos de Cerrado, na sua maioria em áreas ocupadas por pastagens cultivadas inadequadamente, sem receberem os devidos tratamentos culturais.

Estudando macaúba no estado de São Paulo, Costa (2009) encontrou valores de pH variando de acidez muito alta, alta acidez, média acidez e baixa acidez. Motta et al. (2002) encontraram valores para pH em torno de 5,5 em solos sob populações nativas de Minas Gerais, enquanto Teles (2009) classificou os solos de ocorrência natural de macaúba em fortemente ácidos, medianamente ácidos e fracamente ácidos. Assim, de acordo com Costa (2009), os macaúba ocorrem naturalmente sobre solos com diferentes níveis de acidez, mostrando a adaptabilidade da palmeira a essa condição.

As médias para a saturação por bases para as porções de topo, meia-encosta e sopé foram menores que 50% (Tabela 4.6). Sendo assim, as três porções do relevo com ocorrência espontânea de macaúba amostradas têm comportamento semelhante quanto à saturação por bases, apresentando solos distróficos, em consonância ao caráter ácido dos solos.

A baixa fertilidade natural dos solos sob os povoamentos de macaúba avaliados condiz com comentário feito por Novaes (1952, apud FARIA, 2012), no qual afirma ser a palmeira adaptada a solos pobres cobertos por vegetações típicas do Cerrado no estado

de São Paulo. Costa (2009) encontrou, também em São Paulo, populações de macaúba nos dois tipos de solos, sendo, de um total de 18 solos amostrados no horizonte A, 10 eutróficos e 8 distróficos. Entretanto, Motta et al. (2002) observaram a ocorrência natural de macaúba em solos eutróficos, evitando extremos de déficit hídrico e de fertilidade natural. A espécie é citada por Ratter et al. (1977; 1996 apud Motta et al. 2002) como indicadora de solos mesotróficos do Brasil Central, e ainda Lorenzi (2002) e Rocha (1946 apud Motta et al. 2002) comentam a preferência da espécie por solos de maior fertilidade natural. Também Teles (2009) ressalta a ocorrência natural de macaúba preferencialmente em solos eutróficos no estado de Goiás.

Portanto, diante dos resultados encontrados, pode-se redirecionar o conhecimento empírico citado por Pimentel (2012), de que a macaúba é indicadora de solos férteis. Assim, em vez de considerá-la exigente quanto às características físico-químicas do solo, pode-se destacá-la como de alta plasticidade a elas.

As porções de topo, terço médio e sopé das encostas apresentaram média de saturação por alumínio de 18,61%, 46,11% e 34,07%, respectivamente. Segundo interpretação de Osaki (1991 apud RONQUIM, 2010) em se tratando de culturas sensíveis à saturação de alumínio no solo, a porção de topo apresenta valor medianamente prejudicial ($m = 10,1\%$ a 20%), enquanto as porções de meia-encosta e sopé apresentam valores altamente prejudiciais ($m = 20,1\%$ a 45%). Estes valores apontam certa tolerância da macaúba ao alumínio solúvel no solo, mas contrastam com os encontrados por Motta et al. (2002), que observaram populações nativas de macaúba habitando predominantemente em solos com baixa saturação por alumínio, em média de 5%.

Embora o alumínio solúvel no solo seja considerado o inimigo número um de todas as culturas (JANSEN et al., 2003 apud RONQUIM, 2010), ao considerar a expressiva ocorrência espontânea de macaúba nas porções médias e baixas do relevo, pode-se sugerir certa tolerância da espécie a níveis medianamente prejudiciais de alumínio no solo.

Tabela 4.6: Média e desvio padrão para atributos químicos do solo, em relação às diferentes porções do relevo, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Porção	Ca	Mg	K	P*	S	pH (H ₂ O)	M.O.	CTC	m	V	Zn	Mn	Cu	Fe	B
	cmol _c /dm ³		mg/dm ³				dag/kg	cmol _c /dm ³		(%)		mg/dm ³		mg/dm ³	
Média															
1	2,01	0,87	199,33	1,74	3,59	5,44	3,11	8,36	18,61	42,32	1,71	65,26	2,41	244,38	0,33
2	1,61	0,58	128,50	1,59	3,22	5,26	3,69	10,42	46,11	27,61	1,08	52,54	2,09	172,78	0,31
3	1,74	0,91	174,56	2,42	3,48	5,27	3,00	9,92	34,07	32,42	1,76	64,52	2,40	204,72	0,27
Desvio Padrão															
1	0,71	0,26	53,20	0,68	1,87	0,19	0,66	1,95	16,61	12,87	1,61	77,99	1,09	150,49	0,06
2	1,31	0,33	49,08	0,33	1,94	0,31	3,34	2,26	26,73	20,64	0,36	24,49	0,17	49,83	0,11
3	0,86	0,49	77,01	1,17	2,16	0,16	0,49	1,62	21,14	14,76	0,82	24,83	0,57	100,07	0,08

Porção: porções do relevo amostradas, onde: **1**= topo; **2**= meia-encosta; **3**= sopé; **P***: extrator Mehlich.

Em relação à média de CTC a pH 7,0, a porção de topo apresentou 8,36 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; a meia-encosta, 10,42 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; e o sopé, 9,92 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. De acordo com as classes de interpretação de fertilidade do solo definidas por Alvarez V. et al. (1999) para o estado de Minas Gerais, a porção de topo apresentou nível médio de CTC (4,31 a 8,60 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Já as porções de meia-encosta e sopé apresentaram comportamento diferente, com níveis classificados como bons (8,61 a 15,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Vale ressaltar que esses níveis de CTC identificados na paisagem dos solos estudados situam-se aquém dos valores considerados muito bons ($> 15,00 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$).

As três porções do relevo apresentaram comportamento semelhante quanto aos teores de matéria orgânica presentes nos solos sob os macaúba (Tabela 4.6). Tais teores são classificados como médios (2,01 a 4,0 dag/kg), conforme Alvarez V. et al. (1999). De modo geral, Teles (2009) encontrou áreas com presença de macaúba apresentando bons níveis de matéria orgânica no solo em Goiás.

O mediano teor de matéria orgânica encontrado nas três porções do relevo pode ser atribuído ao histórico de baixa intensidade de uso dos solos nas áreas estudadas, já que a grande maioria delas é ocupada por pastagens nativas e plantadas que provavelmente nunca receberam práticas convencionais de preparo do solo, calagem e fertilizações. O não revolvimento dos solos favorece a maior proteção da matéria orgânica (CARNEIRO et al., 2009), além de que a associação da macaúba com a pastagem pode ser considerada uma forma eficiente de reciclar nutrientes e equilibrar a matéria orgânica, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo (LEITE et al., 2013).

Para os teores de Ca, foram encontrados valores médios de 2,01 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para a porção de topo do relevo, 1,61 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para a meia-encosta e 1,74 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para o sopé. De acordo com as classes de interpretação de fertilidade do solo para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999), tais valores são classificados como teores médios (1,21 a 2,40 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), evidenciando que os teores de Ca para as três porções do relevo avaliadas são semelhantes. Teles (2009) encontrou teores de Ca em solos sob macaúba nativos de Goiás variando de médios a altos, enquanto Costa (2009) relatou que os solos sob macaúba que apresentaram problemas de acidez, não apresentaram baixos valores de Ca.

As porções de topo e meia-encosta apresentaram médias de teores para o Mg de 0,87 e 0,58 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente. Considerando as classes de interpretação de fertilidade do solo para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999), tais teores são classificados como médios (0,46 a 0,90 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Já o sopé exibiu média de teor de Mg de 0,91 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, sendo classificado como bom (0,91 a 1,50 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$), mostrando que a porção inferior do relevo possui teor médio de Mg mais elevado que as demais porções.

As três porções do relevo demonstraram comportamento semelhante quanto aos teores de K presentes nos solos sob os macaúba, sendo as médias de 199,33; 128,50 e 174,56 mg/dm^3 para topo, meia-encosta e sopé, respectivamente. Tais teores são classificados como muito bons ($> 120 \text{ mg}/\text{dm}^3$), conforme Alvarez V. et al. (1999). Corroborando, Teles (2009) encontrou níveis altos de K, enquanto Costa (2009) identificou teores variando entre muito baixos e altos nos solos sob povoamentos de macaúba estudados.

Em solos sob pastagens, como é o caso da maioria das áreas estudadas nesta pesquisa, maiores teores de K trocável podem ser explicados pela grande capacidade de absorção e acúmulo de K que as braquiárias possuem, reciclando este nutriente. Os teores de K nas camadas superficiais do solo são incrementados através da grande reciclagem, mediante a decomposição do material orgânico residual e remanescente na área após a dessecação da forrageira (CRUSCIOL e BORGHI, 2007).

Os teores médios de fósforo encontrados foram de 1,74, 1,59 e 2,42 mg/dm^3 , nas porções de topo, meia-encosta e sopé, respectivamente. Não existe diferença entre as porções do relevo amostradas, sendo que, para solos com textura média, tais teores são considerados muito baixos (ALVAREZ V. et al., 1999). Também Teles (2009) e Costa (2009) encontraram teores de P considerados muito baixos nas áreas com ocorrência de macaúba avaliadas. De acordo com Leite et al. (2013), tais resultados realçam as limitações em termos de disponibilidade de P em solos sob fitofisionomias do Cerrado.

Quanto ao enxofre (S), a porção de topo tem teor médio de 3,59 mg/dm^3 , a meia-encosta 3,22 mg/dm^3 , enquanto a porção de sopé possui teor médio de 3,48 mg/dm^3 . Todas as porções da paisagem exibiram teores muito baixos, conforme as classes de interpretação da disponibilidade para o enxofre para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999).

Os micronutrientes, apesar de serem requeridos pelas plantas em concentrações muito baixas, têm a mesma importância dos macronutrientes para a nutrição delas (KIRKBY e RÖMHELD, 2007). Entretanto, podem ser tóxicos, sendo prejudiciais às plantas, caso estejam disponíveis no solo em quantidades muito maiores do que elas precisam (SERRAT et al., 2002).

Os solos estudados apresentaram teores médios elevados em relação aos micronutrientes avaliados, à exceção do B, nas três porções do relevo amostradas.

Houve diferença quanto às médias dos teores de Zn em relação às porções do relevo amostradas (Tabela 4.6), uma vez que as porções de topo e sopé apresentaram teores classificados como bons (1,6 a 2,2 mg/dm³), enquanto o terço médio da encosta apresentou teor classificado como médio (1,0 a 1,5 mg/dm³), conforme as classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999).

Para o Mn, as médias encontradas de seus teores caíram na classe alta nas três porções do relevo (> 12 mg/dm³), de acordo com Alvarez V. et al. (1999), sendo que a porção de topo da paisagem apresentou média de 65,26 mg/dm³; a meia-encosta, 52,54 mg/dm³; e o sopé, 64,52 mg/dm³.

As porções de topo, meia-encosta e sopé exibiram médias de 2,41, 2,09 e 2,40 mg/dm³ para o Cu, respectivamente, sendo as três porções do relevo semelhantes quanto aos teores deste micronutriente, já que todos são classificados como altos (> 1,8 mg/dm³), conforme Alvarez V. et al. (1999).

Para o Fe, as médias dos teores foram 244,38, 172,78 e 204,72 mg/dm³ para as porções de topo, meia-encosta e sopé, respectivamente, evidenciando que também não existem diferenças entre as porções do relevo quanto aos teores deste nutriente, uma vez que são classificados como altos (> 45 mg/dm³), conforme as classes de interpretação da disponibilidade para os micronutrientes para o estado de Minas Gerais (ALVAREZ V. et al., 1999).

O B foi o único micronutriente encontrado em baixas concentrações nos sítios avaliados. Todavia, as três porções do relevo estudadas também são semelhantes quanto aos teores deste micronutriente, sendo esses classificados como baixos (0,16 a 0,35 mg/dm³), conforme Alvarez V. et al. (1999). Para as porções de topo, meia-encosta e

sopé, as médias dos teores encontrados foram de 0,33, 0,31 e 0,27 mg/dm³, respectivamente.

Em solos sob populações de macaúba de ocorrência espontânea, Costa (2009) encontrou teores predominantemente baixos para Zn e B, enquanto os teores para Cu, Fe e Mn encontrados foram predominantemente médios a altos. Já Teles (2011) detectou altos teores para Mn, médios teores para Fe e teores variando de baixos a altos para Zn.

Os resultados encontrados indicam que, a partir das classes de interpretação da disponibilidade para os nutrientes e demais características edáficas, de um modo geral, ao se avaliar a fertilidade natural dos solos, não existem diferenças significativas quanto às variáveis físicas e químicas dos solos quando se comparam as três porções do relevo estudadas. Ou seja, considerando-se os critérios utilizados na interpretação dos resultados de uma análise de solo, pode-se afirmar que as porções de topo, meia-encosta e sopé do relevo apresentam comportamento semelhante quanto às variáveis edáficas estudadas.

Entretanto, ao se comparar os valores médios absolutos das variáveis edáficas em relação às três porções do relevo estudadas, observa-se que a porção de meia-encosta possui solos mais pobres e degradados, enquanto as porções de topo e sopé são ocupadas por solos mais conservados e de maior fertilidade natural.

Então, pode-se presumir que a baixa fertilidade natural não é um fator limitante à ocorrência espontânea da macaúba, porém pode ter influência sobre os parâmetros fitossociológicos, uma vez que as porções de topo e sopé apresentaram fertilidade natural mais elevada e indivíduos com características fitossociológicas superiores, enquanto a porção de meia-encosta, de baixa fertilidade natural, apesar de ter apresentado elevada colonização pela espécie, apresentou indivíduos com caracteres fitossociológicos inferiores.

4.5 Relações Solo – Macaúba

As associações entre as características edáficas e os parâmetros fitossociológicos dos povoamentos de ocorrência espontânea de macaúba foram estudadas através de análise multivariada.

4.5.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

A matriz de dados foi constituída pelos 18 sítios amostrados (unidades amostrais) e pelas variáveis físicas e químicas do solo (Percentual de Areia, Percentual de Argila, Profundidade do Horizonte A, Al, Macro e Micronutrientes), além dos parâmetros fitossociológicos (Nº de cachos, Nº de folhas, Altura e Número de indivíduos por hectare – Nº/ha), totalizando 18 variáveis. Conforme Costa (2009), não devem participar da análise variáveis altamente associadas entre si, portanto, foram eliminadas as variáveis matéria orgânica e pH, além das variáveis complementares CTC, saturação por alumínio (m%) e saturação por bases (V%).

Com o uso de dois componentes principais, foi possível explicar cerca de 44% da variância dos dados. Como pode ser observado na Tabela 4.7, o primeiro componente explica 26,53% da variância, e o segundo, 18,02% - o que representa 44,55% da variância total acumulada nos dois primeiros eixos. Conforme Costa (2009), esse valor pode ser considerado ótimo em estudos de dados ecológicos e ambientais, tendo em vista o elevado número de fatores que podem contribuir para uma determinada observação. Significa que há pouco ruído na análise, ou seja, os dados que participam das matrizes estão explicando relativamente bem a realidade amostrada em campo.

Tabela 4.7: Autovalores, porcentagem de variância e porcentagem de variância acumulada da ACP com dados dos sítios amostrados, solos e parâmetros fitossociológicos, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Componente	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
1	2,1851	26,53	26,53
2	1,8012	18,02	44,55

A componente principal 1 explica melhor, ou seja, está mais fortemente correlacionada com as seguintes variáveis: P, Cu, Mn, Fe, S e Zn, com índices de correlação de 0,332; 0,325; 0,292; 0,291; 0,273 e 0,271, respectivamente. Já a componente principal 2 está mais fortemente correlacionada com Mg, Fe, S, Altura, Nº/ha e Percentual de Argila, com índices de correlação de -0,434; 0,358; -0,307; 0,305; -0,299 e -0,296, respectivamente (Tabela 4.8).

Observa-se que, tanto no primeiro quanto no segundo eixo, as características químicas do solo apresentaram as maiores correlações. Dentre os atributos químicos do

solo, destaca-se a correlação dos micronutrientes com a componente principal 1. Apenas a variável Percentual de Argila se destacou dentre as características físicas dos solos, estando correlacionada negativamente com o eixo 2. Dentre os parâmetros fitossociológicos, Altura e N/ha tiveram maiores correlações com a componente principal 2. As variáveis Fe e S foram bem correlacionadas em ambos os eixos de ordenação.

Tabela 4.8: Correlações entre os dois primeiros eixos de ordenação da ACP com os parâmetros fitossociológicos e variáveis edáficas, na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Variáveis	PC 1	PC 2
S	0,273	-0,307
Zn	0,271	0,020
Mn	0,292	-0,085
Cu	0,325	0,247
Fe	0,291	0,358
B	-0,175	0,278
P	0,332	0,006
Ca	0,146	-0,221
Mg	0,213	-0,434
K	0,248	-0,215
Al	-0,261	0,147
Hz A	0,111	-0,005
% Areia	0,168	0,041
% Argila	-0,256	-0,296
Altura	0,255	0,305
Nº Cachos	0,162	-0,214
Nº Folhas	0,104	0,072
Nº/ha	-0,165	-0,299

PC 1= Componente Principal 1; **PC 2**= Componente Principal 2; **Hz A**= Profundidade do Horizonte A; **% Areia**= Percentual de Areia; **% Argila**= Percentual de Argila; **Nº/ha**= Número de indivíduos por hectare.

O gráfico da ACP (Figura 4.5) indica a relação de alguns fatores. Em se tratando de atributos químicos do solo, é possível perceber que existe uma separação entre macro e micronutrientes, uma vez que os primeiros estão agrupados no lado direito inferior do gráfico, enquanto os outros, à exceção do Mn, estão agrupados na parte superior do gráfico.

Percebe-se que existe relação inversa entre o micronutriente B e os micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn.

A variável física do solo Percentual de Argila relaciona-se positivamente com N°/ha, o que sugere a preferência da macaúba por solos de textura argilosa, ainda mais porque os solos estudados possuem relativamente altos teores de argila.

Profundidade do Horizonte A, também variável física do solo, apresentou correlação positiva com os nutrientes P e Zn.

Enquanto a variável fitossociológica N° de Cachos está relacionada positivamente com os macronutrientes Ca, K, Mg e S, as variáveis Altura e N° de Folhas estão relacionadas positivamente aos micronutrientes Fe e Cu, respectivamente.

A variável N°/ha correlaciona negativamente com a variável Altura, o que é compreensivo ao se considerar a competição por luz solar, água e nutrientes do solo. Conforme Ladeira et al. (2001), em povoamentos adensados, a maior competição por luz e o espaço que se estabelece entre as árvores aceleram a estagnação do crescimento volumétrico.

Da mesma forma, N°/ha tem relação inversa à variável N° de Folhas. Nutto (2001) relata que variáveis relacionadas à copa das árvores são modificadas pela concorrência entre as plantas. Luz solar e vento são os principais fatores responsáveis por essas modificações, ou seja, quanto mais adensado o povoamento florestal, menor a quantidade de luz que atingirá as camadas subsequentes do dossel, ocasionando a morte dos galhos nestas posições.

Considerando as diferentes porções do relevo avaliadas nas topossequências, o gráfico da Figura 4.5 indica que os diversos ambientes estudados não podem ser diferenciados pelas variáveis edáficas ou fitossociológicas avaliadas, uma vez que não houve tendência de agrupamento entre as porções de topo, terço médio ou sopé das encostas. Portanto, conforme Alvarenga e Davide (1999), não se observa uma separação nítida entre os sítios amostrados, de onde se pode inferir maior homogeneidade entre eles.

Também na análise descritiva univariada, considerando as médias e desvios padrões dos dados, já não havia sido possível diferenciar os ambientes em função das variáveis estudadas, uma vez que estas apresentaram comportamento semelhante quando se compararam as três porções do relevo avaliadas.

Observa-se também que os sítios T6P2 (porção média da topossequência 6), T2P2 (porção média da topossequência 2), T2P3 (sopé da topossequência 3) e T5P3

(sopé da topossequência 5) encontram-se relativamente próximos da região central do gráfico, revelando menor correlação com as variáveis de maior relevância, ou seja, tais sítios possuem menor correlação com aquelas variáveis que melhor explicaram a variância das componentes principais 1 e 2.

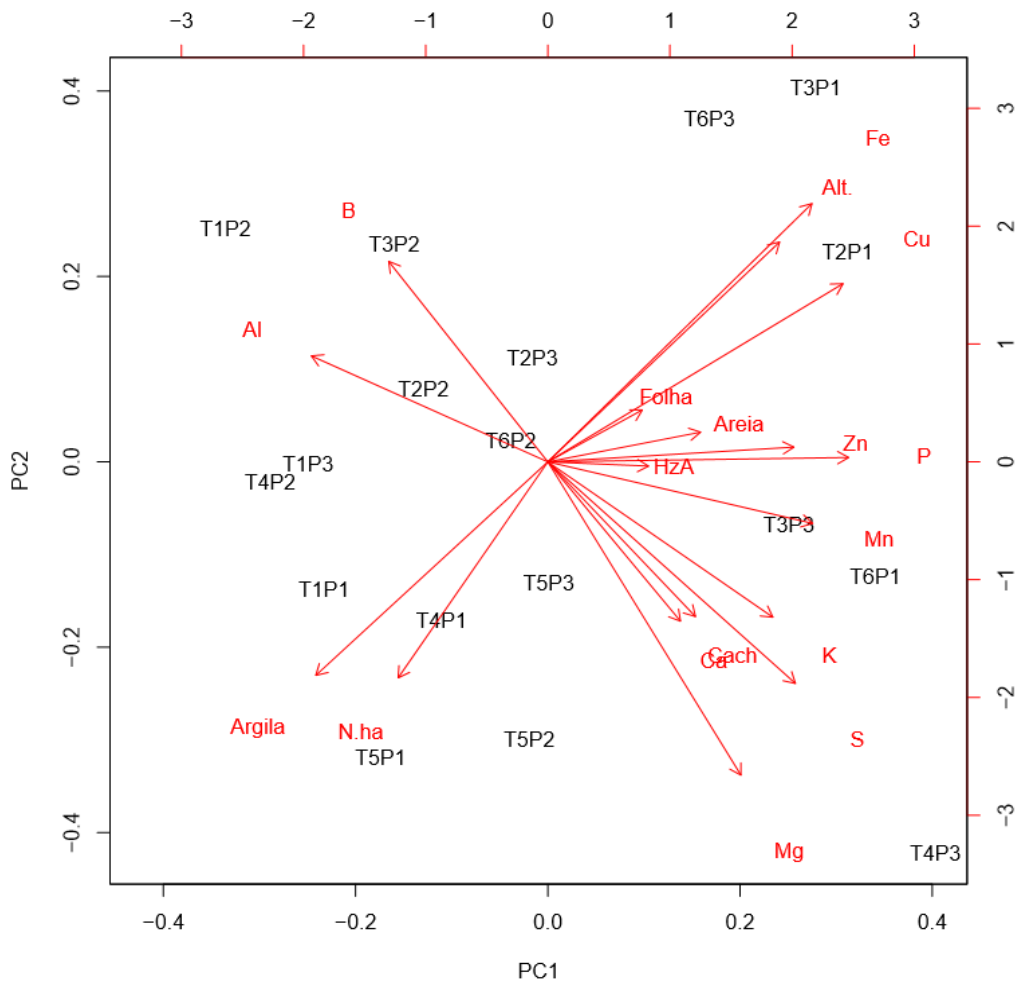


Figura 4.5- Componentes principais com base nas variáveis edáficas e parâmetros fitossociológicos dos sítios amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

4.5.2 Análise de Correspondência Canônica (ACC)

Para esta análise, foram utilizadas as mesmas matrizes de dados utilizadas na ACP: parâmetros fitossociológicos, variáveis edáficas e unidades amostrais. Foi realizado o teste de permutação de Monte Carlo (999 permutações), o qual verificou a

significância das correlações entre as variáveis ambientais (edáficas) e os parâmetros fitossociológicos.

Como pode ser observado na Tabela 4.9, as 18 variáveis selecionadas para compor a análise de correspondência canônica foram combinadas em vetores que explicaram um total de 93,20% da variância dos dados nos dois primeiros eixos de ordenação, sendo 57,23% no primeiro eixo e 35,97% no segundo. Tal número indica que grande parte da variância foi explicada, restando pouca variância remanescente sem explicação, ou seja, mesmo diante da complexidade de alguns fatores, vários elementos importantes foram avaliados. Portanto, de acordo com Souza (2013), a análise foi eficiente na compreensão da interação entre os fatores edáficos e os parâmetros fitossociológicos.

Tabela 4.9: Autovalores, porcentagem de variância e porcentagem de variância acumulada da ACC com dados dos solos e parâmetros fitossociológicos amostrados na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Eixo	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
1	0,006949	57,23	57,23
2	0,004368	35,97	93,20

Das 14 variáveis edáficas incluídas na ACC, Profundidade do Horizonte A (Hz A), S, B, Zn e P apresentaram correlação mais forte com eixo 1. O eixo 2 correlacionou mais fortemente com Fe, Mg, Percentual de Argila, S, B e Cu (Tabela 4.10).

As variáveis físicas dos solos tiveram importância nas correlações, uma vez que Profundidade do Horizonte A (Hz A) e Percentual de Argila (% Argila) apresentaram-se mais fortemente correlacionadas positivamente com o eixo 1 e negativamente com o eixo 2, respectivamente. As variáveis S e B foram bem correlacionadas em ambos os eixos de ordenação.

A ACC indicou correlações entre os parâmetros fitossociológicos e as variáveis edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação, enquanto o teste de Monte Carlo mostrou que os resultados obtidos pela ACC foram significativos para os dois primeiros eixos, ao nível de 3,5% de probabilidade ($\alpha = 0,035$), ou seja, a hipótese de que as correlações sejam devidas ao acaso foi rejeitada.

Tabela 4.10: Correlações entre os dois primeiros eixos de ordenação da ACC e as variáveis edáficas na microbacia do rio Perdição, no município de Bambuí/MG, 2016.

Variáveis	Eixo 1	Eixo 2
S	0,332	-0,400
Zn	0,316	-0,224
Mn	0,057	-0,187
Cu	0,222	0,343
Fe	0,240	0,598
B	-0,325	0,389
P	0,293	-0,017
Ca	-0,038	-0,214
Mg	0,060	-0,506
K	-0,124	-0,077
Al	-0,016	-0,177
Hz A	0,405	0,065
% Areia	0,038	0,286
% Argila	-0,167	-0,476

Hz A= Profundidade do Horizonte A; **% Areia**= Percentual de Areia; **% Argila**= Percentual de Argila.

O gráfico da ACC (Figura 4.6) evidencia que a variável N^o/ha correlaciona-se positivamente com K, o qual está associado à tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, tais como geadas, secas, ventos, pragas e doenças (OLIVEIRA-JÚNIOR, CASTRO e OLIVEIRA, 2013). Uma vez que a análise univariada revelou elevados teores médios de K nas três porções do relevo estudadas, sugere-se que a alta concentração deste elemento nos solos seja fundamental para a colonização da macaúba.

A variável Altura está correlacionada positivamente com Fe e Cu. Em experimento conduzido em casa de vegetação, Pimentel (2012) observou que as plantas de macaúba tiveram seu desenvolvimento mais comprometido pelas omissões de Fe e Cu, ou seja, diante da omissão desses elementos, o crescimento e desenvolvimento das plantas foram rapidamente reduzidos. Portanto, pressupõe-se que existe uma estreita relação entre o sucesso do desenvolvimento da macaúba e a disponibilidade de Fe e Cu no solo.

Entretanto, houve correlação negativa dos micronutrientes Fe e Cu com a densidade de plantas e a quantidade de cachos disponíveis. Dessa forma, torna-se interessante realizar estudos mais aprofundados sobre níveis de elementos minerais críticos para produção e crescimento de plantas de macaúba em condições com maior controle ambiental, focados, principalmente, nos micronutrientes.

A variável Profundidade do Horizonte A correlaciona-se positivamente com Altura, fato que pode ser justificado ao se considerar que a maior espessura deste horizonte pode aumentar a oferta de nutrientes e, assim, beneficiar a altura das plantas.

O micronutriente boro correlaciona-se inversamente com N° de Cachos, ao mesmo tempo em que se relaciona positivamente com N° de Folhas. Tendo em vista os baixos níveis apresentados por este elemento nas áreas estudadas, sugere-se que concentrações elevadas deste nutriente nos solos possam ser prejudiciais à produtividade da macaúba. Por isto, recomenda-se um estudo detalhado da ação do B em plantas de macaúba e, no caso de seleção de áreas para plantio, evitar solos com elevados teores de B disponível, embora o elemento não tenha afetado a ocorrência das plantas, nem a altura.

Assim como na ACP, existe relação inversa entre o micronutriente B e os micronutrientes Cu, Mn, Fe e Zn. De acordo com Malavolta (1996), tal relação pode ser justificada em função da acidez do solo, uma vez que, enquanto a disponibilidade do B é adequada entre pH 6,0 e 7,0, diminuindo em valores abaixo ou acima dessa faixa, a disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn diminui à medida que o pH aumenta, principalmente se passar de 6,0-7,0.

Nota-se que existe relação inversa entre as variáveis N° de Cachos e N° de Folhas. O comprimento da folha parece contribuir para a produção de cachos em plantas de macaúba, uma vez que, aparentemente, em observações de campo, percebeu-se que indivíduos que apresentaram maior número de cachos também apresentaram maiores comprimentos de folhas. De acordo com Berton (2013), o tamanho limitado da área foliar pode levar a uma menor produtividade devido à reduzida área fotossintética, o que pode justificar a afirmação acima.

Diante da relação positiva entre a variável N° de Cachos e os micronutrientes S, Mg e Zn, sugere-se que o uso ou a presença nos solos destes micronutrientes possa favorecer a produção de cachos nas plantas de macaúba.

Observando-se a distribuição dos sítios estudados em função das variáveis edáficas, apenas houve agrupamento de três porções da posição mais baixa da paisagem (sopé) em função da profundidade do horizonte A (Hz A), como pode ser visto na parte central do gráfico, do lado direito. Ademais, como aconteceu na ACP, as diferentes porções da paisagem nos sítios amostrados não podem ser diferenciadas em função das

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A microbacia do rio Perdição, área pertencente ao município de Bambuí, possui um manancial de macaubeiras de ocorrência espontânea, com grande potencial produtivo.

Por meio da caracterização ambiental, percebeu-se que a ocorrência espontânea da macaúba se deu preferencialmente em posições médias e baixas da paisagem, em solos de textura média e cobertos originalmente por fitofisionomias variando de cerradão, cerrado típico, campo cerrado e campo sujo. A porção de terço médio das encostas apresentou menor sucesso no desenvolvimento e produtividade da espécie. Percebeu-se também que a macaúba possui alta plasticidade quanto às características físico-químicas do solo e certa tolerância ao alumínio solúvel no solo. A baixa fertilidade natural dos solos não é impedimento à ocorrência espontânea da macaúba, mas pode ter influência direta nos parâmetros fitossociológicos. Quanto aos aspectos ecológicos, verificou-se que a enxurrada também é responsável pela dispersão das sementes de macaúba.

As porções de topo, meia-encosta e sopé do relevo apresentaram comportamento semelhante quanto às variáveis edáficas e os parâmetros fitossociológicos estudados. Sendo assim, não foi possível diferenciar os ambientes de ocorrência espontânea de macaúba, nem estabelecer critérios definitivos para sua ocorrência.

Os micronutrientes contribuem de forma significativa para a associação entre os solos e os parâmetros fitossociológicos dos macaubais. O teste de Monte Carlo mostrou que as correlações obtidas pela ACC foram significativas ao nível de 3,5% de probabilidade. Dentre as associações, as que mais se destacaram foram Fe e Cu correlacionando positivamente com Altura, ao mesmo tempo em que negativamente com a densidade de plantas e a quantidade de cachos disponíveis, além da correlação negativa entre B e N° de Cachos.

Sugere-se realizar estudos mais aprofundados sobre níveis de elementos minerais críticos para a produção e o crescimento de plantas de macaúba, em condições com maior controle ambiental, focados, principalmente, nos micronutrientes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 933-942, 1999.

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. (editores). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa-MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ASSUMPÇÃO, R. M. **Visão de mercado sobre disponibilidade de matérias primas para a produção de biodiesel. Estudo de caso no estado do Paraná**. Curitiba-PR: LACTEC, 2006. p. 104.

BARBOSA, R. R. **Agroindústria canavieira e desenvolvimento local, Bambuí-MG**. Viçosa-MG: UFV, 2011. 105 p.

BATISTA, M. de A.; PAIVA, D. W. de; MARCOLINO, A. (Org.). **Solos para todos: perguntas e respostas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2014. 87 p.

BERTON, L. H. C. **Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Campinas-SP: IAC, 2013. 154 p.

BICALHO, E. M. et al. Propagação da macaúba: ciência e desafio. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 16-19, nov/dez. 2011.

BORCIONI, E. **Subsídios à implementação de sistemas de cultivo de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. (Arecaceae)**. Curitiba-PR: UFPR, 2012. 113 p.

BORGES, R. T. **Caracterização do ambiente de ocorrência natural, fruto e pseudofruto de caju arbóreo do cerrado (*Anacardium othonianum*), fenologia e implantação de coleção na EA/UFG**. Goiânia-GO: UFG, 2012. 149 p.

BOUROCHE, J.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982. 116 p.

BRITO, A. C. **Biologia reprodutiva de macaúba: floração, polinizadores, frutificação e conservação de pólen**. Viçosa-MG: UFV, 2013. 47 p.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de um solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CASTRO, J. de. **Macaúba - Fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial**. Viçosa-MG: UFV, 2007. 63 p.

CBHSF. **A bacia**. 2016a. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>> Acesso em: 06/09/2016.

CBHSF. **Câmara Consultiva Regional – CCR Alto São Francisco**. 2016b. Disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/ccrs/alto-sao-francisco/>>. Acesso em: 06/09/2016.

CETEC. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Programa Energia, v. 1, 1983, 259 p.

CLEMENT, C. R.; LLERAS PÉREZ, E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociências**, Montevideo, v. 9, n. 1-2, p. 67–71, 2005.

COSTA, C. F. da. **Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaubais no estado de São Paulo**. Campinas-SP: IAC, 2009. 54 p.

COSTA, C. J.; MARCHI, E. C. S. Germinação de sementes de palmeiras com potencial para produção de agroenergia. **Informativo ABRAPE**, v. 18, n. 1-3, p. 039-050, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. **Plantio Direto**, Passo Fundo-RS, v. 100, p.10-14, jul/ago 2007.

DORNELAS, M. A. **Potencialidades e limites de revitalização de uma microbacia do município de Bambuí-MG**. Lavras-MG: UFLA, 2012. 246 p.

FARIA, G. de. **Caracterização morfoanatômica da planta, fruto, semente e plântula de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq. Lodd. ex. Martius)]**. Lavras-MG: UFLA, 2012. 54 p.

FARIA, C. M. A. de. **Integração lavoura, pecuária e floresta como alternativa para recuperação de pastagens degradadas na região de Bambuí-MG**. Viçosa-MG: UFV, 2013. 105 p.

FELFILI, J. M. *et al.* (ORG.) **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa: Editora UFV, v. 1, 2011. 558 p.

GOOGLE. Google Earth. 2016. Disponível em: <<http://www.google.com.br/earth/media/licensing.html>>. Acesso em: 01/05/2016.

HAIR JR., J. F. et al. **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HOPE, A. C. A. A simplified Monte Carlo significance test procedure. **Journal Royal Statistical Society**, v. 30, p. 582-598, 1968.

IBGE. **Atlas do censo Democrático 2010**. Rio de Janeiro, 2013, 156p. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>> Acesso em: 06/09/2016.

JANSEN, S.; SMETS, E.; HARIDASAN, M. Aluminum accumulation in flowering plants. In: BLUMEL, D. D.; RAPPAPORT, A. (Ed). **Mc-Graw Hill Yearbook of Science and Technology**. New York: McGraw-Hill, 2003. p. 11-13.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**. Piracicaba-SP: IPNI - INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, n. 118, jun. 2007. 16 p.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma sequência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 69-78, 2001.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Developments in Environmental Modelling**, Elsevier, v. 24 1998.

LEITE, L. F. C. et al. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, Campina Grande-PB, p. 1257-1263, 2013.

LORENZI, H. et al. **Palmeiras do Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa-SP: Editora Plantarum, 1996. 20 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, v. 1, 2002. 288 p.

LORENZI, G. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Areaceae: bases para o extrativismo sustentável**. Curitiba-PR: UFPR, 2006. 166 p.

LORENZI, G. M. A. C. et al. Prospecção da cadeia produtiva dos frutos da palmeira macaúba no estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 7-14, nov/dez. 2011.

LYRA, W. S. et al. Classificação periódica: Um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1594-1597, 2010.

MALAVOLTA, E. **Nutri-Fatos**: Informação agronômica sobre nutrientes para as culturas. Piracicaba-SP, n. 10, mar. 1996, 24 p.

MANFIO, C. E. **Análise genética no melhoramento da macaúba**. Viçosa-MG: UFV, 2010, 52 p.

MANFIO, C. E. et al. Melhoramento genético da macaúba. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 32-40, nov/dez. 2011.

MINAS GERAIS. Lei nº 19.485, de 13 de Janeiro de 2011. Institui a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas - Pró- Macaúba. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, p. 2, jan. 2011.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

MOTOIKE, S. Y.; NACIF, A. P.; PAES, J. M. V. Macaúba: história do nascimento de uma cultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 6, nov/dez. 2011.

MOTTA, P. E. F. da. et al. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: Relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1023–1031, jul. 2002.

MOURA, E. F. **Embriogênese somática em macaúba: indução, regeneração e caracterização anatômica**. Viçosa-MG: UFV, 2007, 66 p.

NOBRE, D. A. C. et al. Macaúba: Palmeira de Extração Sustentável para Biocombustível. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n. 2, p. 92–105, jul/dez. 2014.

NOVAES, R. J. **Contribuição para o estudo do coco macaúba**. Piracicaba–SP: ESALQ, 1952. 86 p.

NUCCI, S. M. **Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba**. Campinas-SP: IAC, 2007. 84 p.

NUTTO, L. et al. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p.123- 138, jan. 2001.

OLIVEIRA, E. G. de. **A expansão da cana-de-açúcar na região centro-oeste de Minas Gerais: cenário atual e tendências futuras**. Goiânia-GO: UFG, 2014. 131 p.

OLIVEIRA-JÚNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. **Adubação potássica da soja: É preciso repor o K exportado pelas colheitas**. Londrina-PR: EMBRAPA Soja, jan. 2013.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. Campinas-SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.

PIMENTEL, L. D. et al. **Estimativa do custo de produção e viabilidade econômica do cultivo da palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*) para a produção de óleo**

vegetal. Entaban: Entaban Ecoenergéticas do Brasil Ltda, [200-?]. Disponível em: <<http://www.entabanbrasil.com.br/downloads/Estudo-de-Viabilidade-Economica-Macauba-Leonardo-Pimentel.pdf>> Acesso em: 23/03/2016.

PIMENTEL, L. D. et al. Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1ª aproximação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 265, p. 20-30, nov/dez. 2011.

PIMENTEL, L. D. **Nutrição mineral da macaúba: bases para adubação e cultivo.** Viçosa-MG: UFV, 2012. 126 p.

PRADO, H. do. **Manejo dos solos - aspectos pedológicos e suas implicações.** São Paulo-SP: Nobel, 1991. 116 p.

PRADO, H. do. A pedologia simplificada. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba-SP, v. 1, n. 1, p. 1–16, dez. 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BAMBUÍ. **História da Cidade.** Disponível em: <http://www.bambui.mg.gov.br/portal/htdocs/modules/mastop_publish/?tac=Hist%C3%B3ria_da_cidade>. Acesso em: 06/09/2016.

RAMOS, G. L. **Palmáceas alternativas para incremento da produção de biodiesel.** Brasília-DF: UnB, 2010. 133 p.

RATTER, J. A. et al. Observações adicionais sobre o cerradão de solo mesotrófico no Brasil Central. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 4, 1976, Brasília. **Anais...** São Paulo: Edusp, 1977. p. 306-316.

RATTER, J. A. et al. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation. II. Comparison of the woody vegetation of 98 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 53, n. 2, p. 153-180, 1996.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina: EMBRAPA CPAC, 1998. p. 89-166.

ROCHA, O. O coco macaúba. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 21, p. 345-358, 1946.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica e correlações ambientais em um remanescente de floresta ombrófila mista aluvial em Guarapuava, PR.** Irati-PR: UNICENTRO, 2012. 119 p.

RODRIGUES, P. M. S. et al. Fenologia reprodutiva e vegetativa da *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loodd. Ex. Mart. (Arecaceae). In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2008.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais**. Campinas-SP: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

RSTUDIO. **Integrated Development for R**. Boston-MA: RStudio, Inc. Disponível em: <<http://www.rstudio.com>> Acesso em 26 dez. 2016.

SERRAT, B. M. et al. **Conhecendo o solo**. Curitiba-PR: UFPR, 2002. 27 p.

SMITH, M. L. Community and edaphic analysis of upland northern hardwood communities, central Vermont, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 72, p. 267-74, 1995.

SOUZA, E. R. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. Lavras-MG: UFLA, 1996. 91 p.

SOUZA, A. L. de. **Manejo Florestal**. Viçosa-MG: UFV, 2002. Disponível em: <<ftp://www.ufv.br/def/.../AntonioGomes%5CCorrespondCanonica-AntGomes.doc>> Acesso em: 15/09/2016.

SOUZA, S. A. R. de. **O plantio de mudas de árvores no ensino de tópicos de botânica, ecologia e educação ambiental para alunos do ensino fundamental e médio da rede pública de ensino da cidade de Bambuí (MG)**. Belo Horizonte-MG: PUC, 2009. 86 p.

SOUZA, A. C. O. de. **Fatores abióticos influenciando a vegetação em floresta ombrófila densa montana, Parque Estadual da Serra do Mar (Ubatuba, SP)**. Campinas-SP: IAC, 2013. 92 p.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

TELES, H. de F. **Caracterização de ambientes com ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. e suas populações nas regiões centro e sul do estado de Goiás**. Goiânia-GO: UFG, 2009. 137 p.

TER BRAAK, C. J. F.; PRENTICE, I. C. A theory of gradient analysis. **Advances in Ecological Research**, v. 18, p.271-313, 1988.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000, 117 p.

VIANNA, S. A. **Caracterização da variabilidade fenotípica de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. (Arecaceae): Etnobotânica, morfologia, produtividade e composição nutricional**. Corumbá-MS: UFMS, 2011. 61p.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise Multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM, 2005. 215 p.