



**INTERAÇÃO DE FATORES ECOLÓGICOS E EDÁFICOS EM ÁREAS SOB
PROCESSO DE RECUPERAÇÃO NO CERRADO EM PARACATU - MG**

DANIEL ALVES VIEIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**INTERAÇÃO DE FATORES ECOLÓGICOS E EDÁFICOS EM ÁREAS SOB
PROCESSO DE RECUPERAÇÃO NO CERRADO EM PARACATU - MG**

DANIEL ALVES VIEIRA

ORIENTADOR: Dr. ALCIDES GATTO

CO-ORIENTADOR: Dr. JOSÉ ROBERTO RODRIGUES PINTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM-298/2017
BRASÍLIA/DF ABRIL DE 2017**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

INTERAÇÃO DE FATORES ECOLÓGICOS E EDÁFICOS EM ÁREAS SOB
PROCESSO DE RECUPERAÇÃO NO CERRADO EM PARACATU - MG

DANIEL ALVES VIEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADA POR:

Prof. Dr. ALCIDES GATTO (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)
(ORIENTADOR)

Prof. Dr. MAURO ELOI NAPPO (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

Prof. Dr. FÁBIO VENTUROLI (Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás -
UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)

Prof. Dr^a. ROSANA CARVALHO CRISTO MARTINS (Departamento de Engenharia
Florestal - UnB)
(SUPLENTE)

Brasília, abril de 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIEIRA, D. A. (2017) Interação de fatores ecológicos e edáficos em áreas sob processo de recuperação no Cerrado em Paracatu - MG. Dissertação de mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-298/2017. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 87 f.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Daniel Alves Vieira

TÍTULO: INFLUÊNCIA DE FATORES ECOLÓGICOS E EDÁFICOS EM ÁREAS EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO NO CERRADO, EM PARACATU, MG

GRAU: Mestre

ANO: 2017

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Daniel Alves Vieira
danielvieira1989@gmail.com

Dedico esse trabalho à minha mãe, Ivani Alves de Sousa (*in memoriam*), pelo exemplo de dedicação e simplicidade na vida, forças que guiam meus caminhos hoje e sempre.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe Ivani (*in memorian*), ao meu pai Francisco, à minha tia Maria e ao meu irmão Vinícius, por serem tão amorosos, compreensivos, pacientes, incentivadores e terem tanta disposição em ajudar.

Ao prof. Alcides Gatto, por ter aceitado me orientar e pelas contribuições no desenvolvimento da dissertação.

Aos grandes camaradas que pude contar com a ajuda nas atividades de campo: Thalles, Pedro Henrique, Pedro Vilela, Renan, Marco Bruno.

Aos amigos e amigas que pude contar com o incentivo e auxílio para ingressar no mestrado: Thalles, Larissa, Kellen, professora Francine.

Às pessoas incríveis que tive a oportunidade de conviver no cotidiano da UnB, que tanto me ensinaram e que fizeram desse ambiente muito mais agradável: Alexandre, Thalles, Renan, Marco Bruno, Karla, Luiz, Mirella, Fabrícia, Ilvan, Aline, Adriana, Andrea, Fabiana, Angela, Kálita, Érica, Josi, Maísa, Joabel, Nívea, Natália, Milton, Sebastião, Geraldo, prof^a Rosana.

Ao coorientador prof. José Roberto, pelas contribuições no contexto da ecologia e revisão, à Fabiana, Marco, Maísa e Ilvan, por terem se dedicado em contribuir com as revisões da dissertação.

Aos servidores do IEF - Neivaldo, Darci, Moreno e Uemberson -, e aos funcionários da Fazenda Boa Sorte - Régis e Jéssica, por serem tão gentis, atenciosos e terem prestado apoio logístico essencial à condução da pesquisa.

Ao pessoal do Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV-UnB) - Marcelo, prof. Jader e Luiz -, pela ajuda durante a realização dos procedimentos laboratoriais e pela disposição em querer ajudar nas interpretações das análises químicas.

Aos professores Fábio Venturoli, Mauro Nappo e Rosana Martins, por terem aceitado fazer parte da banca examinadora e pelas contribuições na dissertação.

Sou grato a Deus.

RESUMO GERAL

Autor: Daniel Alves Vieira

Orientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

Co-Orientador: Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, abril de 2017.

RESUMO: Restaurar ecossistemas do Bioma Cerrado é considerado um desafio, agravado quando ocorre colonização por espécies invasoras ou degradação pela exploração mineral. Diante disso, foi proposto estudar duas áreas em processo de restauração em Paracatu, MG, destacando mecanismos de interação ecológica (Capítulo I) e condições edáficas (Capítulo II) que possam estar relacionados ao sucesso do processo de recuperação. No Capítulo I, instalaram-se 10 parcelas de 20 x 20 m, mensurando-se todos os indivíduos que apresentavam diâmetros à altura de 30 cm do solo (DAS) \geq 5 cm, sendo mensuradas também suas alturas totais (HT) e diâmetros de copa (COPA). Da amostragem das mudas plantadas, três espécies de destaque em crescimento (DAS, HT e COPA) e abundantes na área de estudo foram investigadas como potenciais facilitadoras (*Lithraea molleoides*, *Terminalia argentea* e *Peltophorum dubium*), tendo características bióticas (cobertura por gramíneas, densidade e riqueza de regenerantes) e abióticas (umidade gravimétrica, luminosidade e resistência à penetração) mensuradas nos micro-habitats abaixo de suas copas, tendo essas características comparadas com micro-habitats de clareiras. As três espécies promoveram o controle do estabelecimento e desenvolvimento das gramíneas exóticas. O número de regenerantes nos micro-habitats abaixo de *P. dubium* e nas clareiras (onde ocorre abundância de gramíneas exóticas) foi superior aos outros dois micro-habitats investigados, e a principal variável explicando essas diferenças foi a menor compactação do solo em subsuperfície (20-40 cm) onde ocorrem esses indivíduos. Com base nisso, conclui-se que a espécie *P. dubium* apresenta potencial de facilitação, porém a falta de banco de sementes viáveis no solo pode estar prejudicando o incremento do número e riqueza de regenerantes. No segundo capítulo, os indivíduos plantados na cascalheira foram amostrados e identificados em 11 transectos nas linhas de plantio, e tiveram os Diâmetros à altura do coleto (DAC) e HT mensurados. Foram determinadas a sobrevivência geral do plantio e a sobrevivência das duas espécies mais abundantes. Procedeu-se ao estudo da qualidade física/química do solo/substrato minerado, por meio da coleta de amostras em trincheiras abertas em quatro tipos de pontos: Cerrado (TC); em covas de plantas mortas (TM); em covas das mudas de indivíduos vivos da espécie mais abundante (TT); e em covas das mudas de indivíduos vivos da espécie de segunda maior abundância (TE). Constatou-se que as mudas plantadas na área encontram dificuldades em se estabelecerem e crescerem. As espécies *Cecropia pachystachya* e *Tapirira guianensis* se destacaram das demais, demonstrando potencial em se estabelecerem em áreas degradadas por mineração, por apresentarem taxas de mortalidade baixas e crescimentos em DAC e HT relativamente altos. Os indicadores da qualidade física nas covas da cascalheira não foram limitantes, indicando que o preparo do substrato foi eficiente nesse aspecto. Foi observado que os teores de matéria orgânica em TM, TT e TE são baixos em comparação à TC, e que nos substratos das covas TE as condições químicas são semelhantes às de covas TM, sugerindo que *C. pachystachya* é uma espécie com boa plasticidade, enquanto *T. guianensis* esteve presente em covas com maiores teores de fósforo.

Palavras-chave: Facilitação, regeneração, mortalidade, qualidade do solo.

GENERAL ABSTRACT

Author: Daniel Alves Vieira

Advisor: Prof. Dr. Alcides Gatto

Co-Advisor: Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto

Forest Sciences Postgraduate Program

Brasília, april 2017.

ABSTRACT: Restoring ecosystems of the Cerrado Biome is considered a challenge, aggravated when the site to be restored is colonized by invasive species or degraded by mineral exploration. Therefore, it was proposed to study two restoration areas in Paracatu, MG, highlighting mechanisms of ecological interaction (Chapter I) and edaphic conditions (Chapter II). In the first chapter, ten plots of 20 x 20 m were installed, measuring all planted individuals that presented diameters (DAS) ≥ 5 cm. Their total heights (HT) and canopy diameters (COPA) were also measured. Three species that highlighted in growth (DAS, HT and COPA) and were abundant in the study area – *Lithraea molleoides*, *Terminalia argentea* and *Peltophorum dubium* - were investigated as potential facilitators, having biotic characteristics (grass cover, density and regenerants richness) and abiotic characteristics (soil moisture, luminosity and penetration resistance) measured in the microhabitats below their canopies, and comparisons with open field micro-habitats were made. The three species promoted control in spread of exotic grasses. The number of regenerants in the microhabitats below *P. dubium* and in the open fields was greater than the others. Based on this, it is concluded that the species *P. dubium* presents facilitation potential, however, a lack of viable seeds in the study area may be harming the increase in the number and richness of regenerants. In the second chapter, the planted individuals in the gravel were sampled and identified in 11 transects in the planting lines, and they had his DAC and HT measured. General survival and survival of the two most abundant species were also determined. Subsequently, the physical/chemical quality of the soil/mined substrate was evaluated, with the collection of samples in open trenches in four types of points: Cerrado (TC); In dead plants (TM); in seedlings pits of living individuals of the species of greater abundance (TT); and in seedlings pits of living individuals of the species of second greater abundance (TE). It was found that planted seedlings are having difficulties in establishing and growing. The species *Cecropia pachystachya* and *Tapirira guianensis*, which stood out from the others, showed use potential in restoring areas degraded by mining, as they presented low mortality rates and relatively high growths in DAC and HT. In general, the indicators of the physical quality in the gravel were not limiting, leading to believe that the preparation of the substrate was efficient in this aspect. As for the chemical quality indicators, it was observed that the organic matter contents in TM, TT and TE are lower than in TC, and that chemical quality in the substrates of TE are similar to those of TM pits, suggesting that *C. pachystachya* is a species with good plasticity, while *T. guianensis* occurred in pits with higher levels of phosphorus.

Key-words: Facilitation, regeneration, mortality, soil quality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Restauração ecológica.....	4
3.2. Modelo Nativas do Bioma	5
3.3. Qualidade do solo	6
3.4. Espécies potenciais facilitadoras e seu emprego na restauração ecológica	8
REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO I – USO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DO CERRADO NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ÁREA ALTERADA PELO USO AGRÍCOLA DO SOLO	14
1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1. Área de estudo	16
2.2. Coleta de dados	17
2.3. Análises de dados	19
3. RESULTADOS	21
3.1. Fertilidade do solo na área de estudo	21
3.2. Crescimento das espécies arbóreas plantadas	21
3.2. Potencial de facilitação de espécies florestais plantadas.....	23
4. DISCUSSÃO	26
4.1. Fertilidade do solo na área de estudo	26
4.2. Crescimento das espécies arbóreas plantadas	27
4.3. Potencial de facilitação de espécies florestais plantadas na área em processo de restauração.....	30
5. CONCLUSÕES	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	34

**CAPÍTULO II - QUALIDADE DO SUBSTRATO DE CASCALHEIRA COMO
LIMITANTE AO ESTABELECIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO**

.....	42
1. INTRODUÇÃO	42
2. MATERIAL E MÉTODOS	44
2.1. Área de estudo.....	44
2.2. Coleta de dados	45
2.3. Análise de dados.....	48
3. RESULTADOS	49
3.1. Crescimento e sobrevivência das mudas plantadas.....	49
3.2. Qualidade física do substrato minerado e do solo sob Cerrado	50
3.3. Qualidade química do substrato minerado e do solo sob Cerrado	53
4. DISCUSSÃO	61
4.1. Crescimento e sobrevivência das mudas plantadas.....	61
4.2. Qualidade física do substrato minerado e do solo sob Cerrado	63
4.3. Qualidade química do substrato minerado e do solo sob Cerrado	65
5. CONCLUSÕES	68
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. 16
- Figura 2.** Demarcação de parcela circular em clareira gerada pela morte de mudas plantadas na área em processo de restauração, Paracatu, MG. 18
- Figura 3.** Diagrama de ordenação com base nas variáveis dendrométricas mensuradas em indivíduos das 10 espécies mais abundantes na área de estudo. DAS = diâmetro à altura de 30 cm do solo; HT = altura total; COPA = diâmetro da copa. 23
- Figura 4.** Variáveis abióticas investigadas nos micro-habitats abaixo das copas de espécies nativas plantadas e em clareiras na área de estudo. (a) luminosidade; (b) umidade gravimétrica do solo; (c) resistência do solo à penetração nas camadas superficial e subsuperficial. letras iguais não diferem pelo teste tukey, $p < 5\%$ 24
- Figura 5.** Variáveis bióticas investigadas nos micro-habitats abaixo das copas de espécies nativas plantadas e em clareiras distribuídas na área de estudo. 25
- Figura 6.** Coleta de material botânico de *Peltophorum dubium* na área de estudo, evidenciando a presença de material reprodutivo (frutos verdes). 29
- Figura 7.** Mapa de localização da cascalheira e do remanescente de Cerrado estudado. 44
- Figura 8.** Procedimento de coleta de amostras do substrato nas covas das mudas das espécies de maior abundância no substrato de cascalheira, Paracatu, MG. 47
- Figura 9.** Diagrama da *principal component analysis* (PCA) das variáveis físicas do substrato da cascalheira e do solo sob cerrado, Paracatu, MG. Ds = densidade; θ_{seca} = umidade volumétrica na estação seca; θ_{chuva} = umidade volumétrica na estação chuvosa. 51
- Figura 10.** Diagrama contendo os dois primeiros componentes principais da PCA das variáveis químicas do substrato da cascalheira e do solo sob cerrado, Paracatu, MG. 55
- Figura 11.** Diagrama contendo o primeiro e o terceiro componente principal da PCA das variáveis químicas do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado, Paracatu, MG. 56

Figura 12. Medianas para os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) no solo sob Cerrado (TC) e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira (TM, TT e TE), no município de Paracatu, MG	57
Figura 13. Medianas para os teores de potássio (K) no solo sob Cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira, no município de Paracatu, MG.	58
Figura 14. Medianas para os teores de fósforo (P) no solo sob Cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira, no município de Paracatu, MG.	59
Figura 15. Medianas para os teores de matéria orgânica (MO) no solo sob cerrado (TC) e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira (TM, TT e TE), no município de Paracatu, MG.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias das características químicas do solo (0-20 cm) na área em processo de restauração na margem de reservatório artificial de água, Paracatu, MG.....	21
Tabela 2. Características dendrométricas das 10 espécies mais abundantes registradas na área em processo de restauração na margem de reservatório de água, aos 62 meses pós-plantio, Paracatu, MG.....	22
Tabela 3. Coeficientes e significância (valor de <i>p</i> entre parênteses) dos efeitos de variáveis preditoras (abióticas) utilizadas nos GLMMs para as variáveis respostas (bióticas)...	26
Tabela 4. Características dendrométricas das dez espécies mais abundantes registradas na cascalheira em processo de restauração, seis anos pós-plantio, Paracatu, MG.....	49
Tabela 5. Textura do substrato da cascalheira e de solo sob cerrado na adjacência da Cascalheira, Paracatu, MG.....	50
Tabela 6. Características físicas do solo sob cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira, em duas profundidades, Paracatu, MG.....	52
Tabela 7. Características químicas do solo sob cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira em duas profundidades e em duas estações, Paracatu, MG.....	53
Tabela 8. Autovalores dos componentes formados na PCA, porcentagens de variância explicadas e acumuladas.....	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é o segundo maior Bioma brasileiro em extensão territorial, ocupando uma área de mais de 2.038.520 km², que correspondem à cerca de 23% da superfície brasileira (GAMARRA et al., 2016). Abriga três importantes bacias hidrográficas sul-americanas – Tocantins, São Francisco e Prata (BRASIL, 2014). O Bioma também consta na lista dos *hotspots* de biodiversidade no mundo, devido à alta concentração de espécies endêmicas e à intensa perda de habitats naturais (MYERS et al., 2000).

Até meados do século XX, o centro-oeste brasileiro, que se localiza na porção centro-sul do Bioma Cerrado, possuía baixa densidade demográfica e as atividades desenvolvidas na região consistiam basicamente em atividades agrícolas de subsistência com predominância da criação extensiva de gado. Entretanto, a partir da década de sessenta, com o advento da política de integração nacional, com a instalação de novas cidades (a exemplo de Brasília), foi inserido no contexto de produção de alimentos e energia do Brasil (AGOSTINI-COSTA et al., 2010). Desde então, o desmatamento vem ocorrendo de modo intenso devido às características da região, favoráveis à agricultura e à pecuária, além da demanda por carvão vegetal para a indústria siderúrgica (BRASIL, 2014). Em estudo realizado por Beuchle et al. (2015) avaliando uma série temporal, estimou-se que a porcentagem de vegetação natural remanescente do Bioma era de 53,1% no ano de 1990; 49,1% no ano de 2000; e 47,0% no ano de 2010 (BEUCHLE et al., 2015). Já os dados oficiais divulgados pelos órgãos ambientais oficiais do país, estimam que no ano de 2010 restavam 50,84% da vegetação natural (MMA, 2011).

Nesse contexto, para evitar os impactos ambientais promovidos pela intensificação de usos alternativos do solo, um conjunto de técnicas que visem a mitigar impactos ambientais inclui o plantio direto, a prevenção e combate a incêndios florestais e a restauração de vastas áreas degradadas (LAPOLA et al., 2014).

A importância de se restaurar áreas degradadas advém de um direito fundamental garantido constitucionalmente a todos os cidadãos brasileiros: o meio ambiente ecologicamente equilibrado. A restauração de vegetações nativas é essencial por garantir os serviços ambientais, que são definidos como benefícios à humanidade providos por produtos e processos mantidos por ecossistemas naturais, tais como a purificação da água, a proteção do solo e o controle de pragas na agricultura (BRANCALION et al., 2016).

Métodos e modelos de restauração mostram-se bem consolidados para ambientes que funcionam como florestas, baseando-se essencialmente em processos sucessionais relativos às respostas das plantas ao fator luz. Para as condições savânicas, entretanto, as diferentes características da dinâmica sucessional (FELFILI et al., 2008) dificultam ou inviabilizam a aplicação destes mecanismos para a restauração de parte das fitofisionomias do Bioma.

No Cerrado, as dificuldades são ainda maiores nos casos em que se busca restaurar áreas severamente degradadas, como os casos de sítios submetidos à exploração de minérios e sítios colonizados por plantas invasoras. Nesses casos a capacidade de plantas nativas se estabelecerem naturalmente é fortemente prejudicada, podendo tomar décadas (STARR et al., 2013). Nesse contexto, esforços empregados na restauração de ecossistemas nessas situações precisam ser analisados e avaliados quanto à sua efetividade, subsidiando informações que contribuam para a consolidação de métodos apropriados.

Dentre os esforços realizados no Bioma Cerrado, pode-se destacar o modelo Nativas do Bioma, no qual unidades de observação foram instaladas em campo com objetivo de acompanhar, avaliar e validar resultados (AQUINO et al., 2009). O Nativas do Bioma tem como preceito a utilização de espécies autóctones do Bioma sem necessariamente serem autóctones da fitofisionomia que se pretende restaurar.

Ações de restauração implantadas de acordo com o modelo Nativas do Bioma foram alvo de alguns estudos, como os realizados por Pinto et al. (2007); Antezana et al. (2009), Venturoli et al. (2013) e Oliveira et al. (2015), que avaliaram o processo de restauração por meio de indicadores relacionados às características dendrométricas dos indivíduos plantados, destacando a sobrevivência e crescimento das mudas plantadas. Entretanto, conhecimentos acerca dos atributos do solo de ambientes degradados podem servir como base para a restauração desses ecossistemas (BAER et al., 2012), assim como aqueles relacionados à interações ecológicas, como a facilitação (REIS et al., 2010). Estudos que buscaram investigar plantios por meio dessas abordagens ainda são incipientes.

Diante desse cenário, o presente estudo propôs avaliar duas áreas que tiveram projetos de restauração realizados conforme o Modelo Nativas do Bioma, destacando mecanismos de interação ecológica e condições ambientais que possam estar relacionadas ao sucesso do processo de restauração.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar dois plantios de restauração implantados em Paracatu, MG, de modo a investigar mecanismos de interação ecológica e condições ambientais que podem estar determinando o sucesso das ações de restauração.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Capítulo 1

- Determinar quais espécies plantadas destacaram-se em crescimento em área degradada pelo uso agrícola com presença significativa de gramíneas invasoras;
- Avaliar, na área degradada, se árvores de espécies nativas plantadas podem cumprir a premissa de modificar características abióticas no micro-hábitat abaixo de suas copas;
- Verificar quais modificações podem refletir em controle da matocompetição e facilitação da regeneração natural de lenhosas.

2.2.2. Capítulo 2

- Identificar quais espécies nativas plantadas tiveram sucesso em se estabelecerem em uma área degradada pela extração de cascalho;
- Avaliar, na área degradada, se ocorrem diferenças significativas na qualidade física e/ou química do substrato minerado em relação a solo sob Cerrado nativo;
- Investigar se duas espécies abundantes e caracterizadas como colonizadoras iniciais suportam limitações físicas/químicas em suas covas de plantio como as que ocorrem onde houve morte de mudas plantadas;
- Verificar se limitações da qualidade do substrato minerado são mais pronunciadas em alguma das estações do ano.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Restauração ecológica

A prática de restauração ecológica vem se destacando em meio às políticas e estratégias acerca de recursos naturais, tanto em níveis locais quanto globais (WORTLEY et al., 2013; CAVA et al., 2016). Em 2014, na Cúpula do Clima das Nações Unidas, governanças se reuniram em torno de um acordo internacional – A Declaração de Nova Iorque sobre Florestas, no qual as partes se comprometeram em restaurar 350 milhões de hectares até o ano de 2030 (SUDING et al., 2015).

No Brasil, as imposições da Lei nº 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção de vegetação nativa, implicam em uma significativa demanda por restauração. De acordo com Soares-Filho et al. (2014), a área total que deve ser restaurada no país de forma a atender as imposições da referida lei é de aproximadamente 21 milhões de hectares.

A ciência e a prática da restauração de ecossistemas é um campo de conhecimento novo no Brasil e no mundo (ARONSON et al., 2011). O termo “restauração ecológica” está relacionado à prática, e pode ser definido como o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído; já o termo “ecologia da restauração” está associado à ciência sobre a qual se baseia a prática, fornecendo conceitos, modelos, metodologias e ferramentas que subsidiam os profissionais (SER, 2004).

Para a SER (2004), um ecossistema restaurado deverá apresentar, entre diversos atributos indicadores, diversidade e estrutura similares às de um ecossistema de referência. Entretanto, em ecossistemas tropicais, embora haja consenso de que intervenções humanas visando à restauração aceleram a regeneração de comunidades de plantas em áreas degradadas, o resultado da sucessão entre os estados perturbado e final do ecossistema em restauração ainda é assunto controverso na literatura (SUGANUMA; DURIGAN, 2015). Nesse ínterim, dentre as teorias correlatas a essa matéria, algumas defendem que a restauração ecológica deve, sobretudo, priorizar a restauração de processos ecológicos responsáveis pela reconstrução de ecossistemas, em vez da reprodução de condições florísticas idênticas às existentes anteriormente à degradação (RODRIGUES et al., 2009), visto que esta última meta tem sido considerada como praticamente impossível de se realizar (MARON et al., 2012).

Embora seja possível encontrar na legislação brasileira normas que apontem como objetivo da restauração a restituição de um ecossistema degradado às condições o mais próximo possíveis de suas condições originais, Nery et al. (2013) apontam que tal objetivo só seria realmente factível se não for considerada, necessariamente, a composição de espécies original, incorporando-se a ideia de que os sistemas ecológicos, especialmente os tropicais, são dinâmicos e variam ao longo do tempo, sendo prioritária, portanto, a restauração dos processos de automanutenção das populações.

3.2. Modelo Nativas do Bioma

A restauração ecológica do Cerrado pode ser considerado como um desafio, basicamente devido às condições ambientais restritivas (DURIGAN, 2013). Além disso, para ambientes de florestas tropicais como no caso das formações existentes na Mata Atlântica, o arcabouço de conhecimento científico e de práticas é muito expressivo, ao contrário do cenário observado em ambientes campestres e savânicos, em que os estudos científicos que fundamentem a aplicação de técnicas em diferentes contextos ainda são escassos (CAVA et al., 2016). No Brasil, desde a primeira experiência realizada no Bioma Mata Atlântica, mais especificamente na atual Floresta da Tijuca, a forma de entender a restauração em ambientes florestais tem se modificado gradativamente, graças a uma abordagem vinculada a aspectos científicos, sobretudo àqueles relacionados aos conhecimentos acerca da sucessão florestal (BRANCALION, 2013).

Cerrado e Mata Atlântica, entretanto, diferem consideravelmente quanto ao espectro biológico e às condições edafoclimáticas. Nesse contexto, alguns paradigmas devem ser quebrados quanto à adoção de métodos e processos para restauração ecológica de fitofisionomias savânicas, visto que se tratam de comunidades onde os princípios de dinâmica de clareiras e grupos funcionais de respostas à luz são diferentes daqueles das comunidades florestais (AQUINO, 2009; DURIGAN, 2013).

Diante dessa demanda, foi proposto o modelo Nativas do Bioma para formação de plantios de restauração com espécies de uso múltiplo. O modelo foi desenvolvido com base em duas décadas de estudos, no âmbito dos projetos Biogeografia do Bioma Cerrado, Estrutura e Dinâmica das Matas de Galeria, Florestas Estacionais e de Cerrado, Conservação e Manejo da Biodiversidade do Bioma Cerrado e Ecofisiologia das Plantas

Nativas do Cerrado. Contou com o apoio de diversas entidades de financiamento, como o FNMA, CNPq, FINEP, DFID-UK; e participação de várias instituições de pesquisa, entre elas: Universidade de Brasília, Embrapa-Cerrados, Embrapa Cenargen, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Estadual de Nova Xavantina, Universidade Católica de Brasília.

Considerando que o Bioma é coberto por um mosaico de fisionomias vegetais (EITEN, 1986), o modelo parte do pressuposto que um plantio misto de espécies savânicas e florestais irá apresentar uma taxa de cobertura do solo mais rápida do que um plantio com utilização exclusiva de espécies típicas de ambientes savânicos (FELFILI; SANTOS, 2002). Os autores defendem que, apesar das espécies típicas de fisionomias florestais não penetrarem em fisionomias savânicas devido às restrições edafoclimáticas, (como profundidade efetiva do solo, baixa fertilidade natural, restrição hídrica), quando introduzidas em plantios de restauração em covas profundas, sobretudo com solos corrigidos e adubados, as espécies florestais conseguem se desenvolver mais rapidamente do que as próprias espécies típicas de ambiente savânico. A partir do rápido recobrimento do solo, a competição com gramíneas exóticas é reduzida, e ao longo do tempo é previsto o manejo e o desbaste das espécies florestais para permitir o crescimento das espécies savânicas (AQUINO, 2009).

Ações de restauração com base no Modelo Nativas do Bioma foram implantadas em campo em diversas regiões do Bioma, ao longo dos últimos 10 anos. As principais entidades responsáveis pelas implantações em campo foram a Embrapa Cerrados, com plantios no Distrito Federal e no estado de Goiás, e a Universidade de Brasília, por meio do Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD). Os plantios realizados pelo CRAD contaram com o apoio de diversas instituições, destacando-se o Instituto Estadual de Florestas (IEF) de Paracatu, MG, responsável por colaborar com o CRAD nos plantios realizados no âmbito do Programa de Revitalização na Bacia do São Francisco.

3.3. Qualidade do solo

Na década de noventa, números alarmantes de áreas fisicamente e quimicamente degradadas aliados às perspectivas catastróficas quanto a esse problema fizeram a comunidade científica contemplar com maior atenção o uso e manejo do solo, trazendo

à tona discussões acerca de conceitos relacionados à qualidade desse recurso (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Apesar das numerosas discussões sobre o tema, ainda não há consenso do conceito de qualidade do solo na literatura. Larson e Pierce (1994) definem o termo simplesmente como adequação ao uso (*“fitness for use”*). Doran e Parkin (1994) o definem como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, animais e homens.

Araujo et al. (2012) apontam que, ao contrário da água e do ar, que possuem padrões e por conseguinte regulamentações acerca de suas qualidades, o solo não possui um padrão ou convenção quanto à avaliação de sua qualidade. Os autores relatam que devido à heterogeneidade e dinâmica do compartimento solo, sua qualidade não pode ser mensurada diretamente, podendo apenas ser estimada por meio de indicadores arbitrados pelo homem. Para isso, as abordagens em torno da avaliação de atributos edáficos variam desde aquelas desenvolvidas para coletar dados qualitativos até àquelas designadas a coletas quantitativas mais detalhadas (BONE et al., 2014).

Várias propostas de indicadores para avaliar a qualidade do solo surgiram ao longo do tempo, envolvendo aspectos físicos, químicos e biológicos. Arshad e Coen (1994) indicam uma série de atributos físico-químicos que podem desempenhar o papel de indicadores, tais como: densidade do solo, resistência a penetração, água disponível, teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e pH.

Conhecimentos acerca da qualidade do solo têm sido aplicados com frequência em estudos que buscam avaliar áreas em processo de restauração ecológica. Almeida e Sánchez (2015) argumentam que a avaliação das condições edáficas concomitantemente à avaliação do desenvolvimento das plantas é justificada pelo fato de que os substratos degradados fornecem sustentação e nutrientes para a comunidade vegetal implantada, e também pelo fato de que as características desses substratos modificam-se ao longo do tempo como resultado das medidas de recuperação.

3.4. Espécies potenciais facilitadoras e seu emprego na restauração ecológica

Frente à crescente demanda por estratégias que tornem a restauração de ecossistemas tropicais ecológica e economicamente viável, discussões têm destacado o potencial da utilização de processos naturais envolvidos na montagem de comunidades como uma forma de otimização dos resultados das ações restauradoras (CORBIN; HOLL, 2012; ZAWAHI et al., 2013; GALINDO et al., 2017).

Apesar de processos relacionados às interações negativas, principalmente a competição, terem sido dominantes em estudos ecológicos, recebendo suporte de pesquisadores influentes desde Darwin, pesquisas têm demonstrado a importância das interações positivas em meio a esses processos (BRUNO et al., 2003; POULOS et al. 2014; YELENIK et al., 2015). A facilitação pode ser conceituada como uma interação entre organismos na qual pelo menos um deles é beneficiado, sem causar prejuízos ao outro, sendo que essa interação pode ocorrer de duas formas: diretamente, modificando propriedades físicas, químicas e bióticas do hábitat, tornando-as mais favoráveis a ocupação; ou indiretamente, por meio do controle de competidores, por exemplo (BRUNO et al., 2003; GÓMEZ-APARICIO et al., 2005).

Há relatos de espécies que são capazes de desencadear esse processo de forma mais acentuada. De acordo com Reis et al. (2003), elas são abordadas na literatura com diferentes denominações, como espécies-chave (SMYTHE, 1986), espécies facilitadoras (RICKLEFS, 1996) ou companheiras (LARREA-ALCÁZAR et al., 2005). Essas espécies podem ainda ser relatadas na literatura dentro de contextos mais amplos, como no caso do “*framework species method*”, método de restauração de áreas degradadas que se baseia no emprego de um plantio composto por árvores que restaurem a estrutura básica de um ecossistema e que estimulem a recuperação de biodiversidade (BLAKESLEY et al., 2002).

Bertness e Callaway (1994) propuseram que quanto mais estressantes forem as condições ambientais, mais fortes seriam os efeitos positivos oriundos da facilitação nas comunidades de plantas, entendimento que veio a ser batizado como hipótese do gradiente de estresse (SGH, do inglês *stress-gradient hypothesis*). Devido ao fato de que as áreas em processo de restauração, em geral, apresentam condições ambientais muito estressantes ao estabelecimento e crescimento da maioria das plantas, conhecimentos relacionados à facilitação ecológica parecem aplicáveis às ações de restauração.

No Brasil, abordagens envolvendo o efeito da facilitação vegetal em áreas submetidas aos projetos de restauração têm investigado o processo tanto de forma direta quanto indireta. Exemplos de estudos em torno dos efeitos diretos da facilitação são os trabalhos realizados por Passos et al. (2014) e Melo et al. (2015), que investigaram a densidade e riqueza de indivíduos provenientes da regeneração natural sobre as copas de indivíduos considerados como facilitadores; paralelamente, trabalho realizado por Modna et al. (2010) é exemplo de uma abordagem acerca dos efeitos indiretos da facilitação por meio do controle de matocompetição.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI-COSTA, T. S.; SILVA, D. B.; VIEIRA, R. F.; SANO, S. M.; FERREIRA, F. R. Espécies de maior relevância para a região centro-oeste. In: VIEIRA, R. F.; AGOSTINI-COSTA, T. S.; SILVA, D. B.; SANO, S. M.; FERREIRA, F. R. (Orgs.). **Frutas Nativas da Região Centro-Oeste do Brasil**. Brasília-DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2010. p. 15-30.
- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Indicadores da qualidade do substrato para monitoramento de áreas de mineração revegetadas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 153-163, 2015.
- ANTEZANA, F. L.; SOUSA-SILVA, J. C.; DUBOC, E. Mortalidade de espécies do Cerrado após dez meses de plantio, sob diferentes condições de adubação orgânica e roçagem em Planaltina-DF. In: **Simpósio Nacional Cerrado, IX, Simpósio Internacional Savanas Tropicais, II**, 2009, Brasília, Anais... Embrapa Cerrados, p. 123-128.
- ARAUJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceito, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 7, p. 25-32, 1992.
- AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; PASSOS, F. B. **Módulos para Recuperação do Cerrado com Espécies Nativas de Uso Múltiplo**. Planaltina-DF, Embrapa Cerrados, 2009. 50p.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **Instituto Florestal Série Registros**, São Paulo, v. 44, 38p, 2011.
- BAER, S. G.; HANEGHAN, L.; EVINER, V. T. Applying soil ecological knowledge to restore ecosystem services. In: WALL, D. H.; BARDGETT, R. D.; BEHAN-PELLETIER, V.; HERRICK, J. E.; JONES, T. H.; RITZ, K.; SIX, J.; STRONG, D. R.;

BERTNESS, M. D.; CALLAWAY, R. M. Positive interactions in communities. **Trends in Ecology and Evolution**, Oxford, v. 9, p. 191-193, 1994.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, Hyattsville, v. 58, p. 116-127, 2015.

BLAKESLEY, D.; ELLIOTT, S.; KUARAK, C.; NAVAKITBUMRUNG, P.; ZANGKUM, S.; ANUSARNSUNTHORN, V. Propagating framework tree species to restore seasonally dry tropical forest: implications of seasonal seed dispersal and dormancy. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 164, p. 31-38, 2002.

BONE, J.; BARRACLOUGH, D.; EGGLETON, P.; HEAD, M.; JONES, D. T.; VOULVOULIS, N. Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: The use of publicly collected data. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 25, p. 251-266, 2014.

BRANCALION, P. H. S. Experiências com reflorestamentos antigos: obstáculos inesperados e formas de manejo em floresta estacional semidecidual. In: **SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, V**, São Paulo, 2013. Anais..., Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, p. 38-41.

BRANCALION, P. H. S.; GARCIA, L. C.; LOYOLA, R.; RODRIGUES, R. R.; PILLAR, V. D.; LEWINSOHN, T. M. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil: updates and ongoing initiatives. **Natureza e Conservação**, n. 14, p. 1-15.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado: 2ª fase**. Brasília, 132p. 2014.

BRUNO, J. F.; STACHOWICZ, J. J.; BERTNESS, M. D. Inclusion of facilitation into ecological theory. **Trends in Ecology and Evolution**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 119-125. 2003.

CAVA, M. G. B.; ISERNHAGEN, I.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, São Paulo, v. 43, n. 2, 2016.

CORBIN, J. D.; HOLL, K. D. Applied nucleation as a forest restoration strategy. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 265, p. 37-46, 2012.

CORREIA, C. R. M. A. (Orgs.) **Bases para a Recuperação de Áreas Degradadas na Bacia do São Francisco**. Brasília: Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD). 2008. p. 17-26.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society American, 1994. p. 3-21.

DURIGAN, G. Reflexões sobre a restauração ecológica em regiões de Cerrado. In: **SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, V**. São Paulo, 2013. Anais..., Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, p. 33-37.

- EITEN, G. The use of the term “savanna”. **Tropical ecology**, Cambridge, v. 27, n. 1, p. 10-23, 1986.
- FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; PINTO, J. R. R. Recuperação de áreas degradadas no Cerrado com espécies nativas do bioma e de uso múltiplo para formação de corredores ecológicos e uso sustentável da reserva legal. In: FELFILI, J. M.; SAMPAIO, J. C.;
- FELFILI, J. M.; SANTOS, A. A. B. Direito ambiental e subsídios para a revegetação de áreas degradadas no Distrito Federal. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 4, n. 2, 135p, 2002.
- GALINDO, V.; CALLE, Z.; CHARÁ, J.; ARMBRECHT, I. Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forest in the Central Andes of Colombia. **Restoration Ecology**, Malden, 2017.
- GAMARRA, R. M.; FERREIRA, T. S.; ROCHE, K. F.; MATOS FILHO, H. J. S.; CATALANI, T. G. T.; PAGOTTO, T. C. S.; PARANHOS FILHO, A. C. Analysis of land cover changes of a Cerrado (Tropical Savanna) área in the Centre-West of Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 1, p. 76-90, 2016.
- GÓMEZ-APARICIO, L.; GOMEZ, J. M.; ZAMORA, R. Microhabitats shift rank in suitability for seedling establishment depending on habitat type and climate. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 93, n. 6, p. 1194-1202, 2005.
- LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, London, v. 4, p. 27-35, 2014.
- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Quantifying indicators for soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, American Society of Agronomy. 1994. p.323-349.
- MARON, M.; HOBBS, R. J.; MOILANEN, A.; MATTHEWS, J. W.; CHRISTIE, K.; GARDNER, T. A.; KEITH, D. A.; LINDENMAYER, D. B.; MCALPINE, C. A. Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. **Biological Conservation**, Boston, v. 155, p. 141-148, 2012.
- MELO, A. C. G.; DARONCO, C.; RÉ, D. S.; DURIGAN, G. Atributos de espécies arbóreas e a facilitação da regeneração natural em plantio heterogêneo de mata ciliar. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 333-344, 2015.
- MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2011. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: Monitoramento do Bioma Cerrado. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. IBAMA, Brasília. 65p.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.
- MODNA, D.; DURIGAN, G.; VITAL, M. V. C. *Pinus elliottii* Engelm como facilitadora da regeneração natural da mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 73-83, 2010.

NERY, E. R. A.; SARAIVA, C. S.; CRUZ, L. M. S.; SOUZA, M. M. O. R.; GOMES, F. S.; EL-HANI, C. N.; MARIANO-NETO, E. O conceito de restauração na literatura científica e na legislação brasileira. **Revista Caititu**, Salvador, n. 1, p. 43-56, 2013.

OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; PASSOS, F. B.; AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, F. F.; SOUSA, S. R. Crescimento de espécies nativas em um plantio de recuperação de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 25-32, 2015.

PASSOS, F. B.; LOPES, C. M.; AQUINO, F. G.; RIBEIRO, J. F. Nurse plant effect of *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. in area of Brazilian Savanna undergoing a process of restoration. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 251-259, 2014.

PINTO, J. R. R.; CORREIA, C. R.; FAGG, C. W.; FELFILI, J. M. Sobrevivência de espécies vegetais nativas do Cerrado, implantadas segundo o modelo MDR Cerrado para a recuperação de áreas degradadas In: **CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL – VIII CEB**, Caxambu, 2007, Anais... p. 1-2.

POULOS, J. M.; RAYBURN, A. P.; SCHUPP, E. W. Simultaneous, independent, and additive effects of shrub facilitation and understory competition on the survival of a native forb (*Penstemon palmeri*). **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 215, n. 4, p. 417-426, 2014.

REIS, A.; ESPINDOLA, M. B.; VIEIRA, N. A nucleação como ferramenta para a restauração ambiental. In: **Seminário Temático sobre Recuperação de Áreas Degradadas**, São Paulo, 2003, Anais... p. 32-39.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R. Nucleation in tropical ecological restoration. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 244-250, 2010.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, Boston, v. 142, p. 1242-1251, 2009.

SER. Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group 2004. **The SER Primer on Ecological Restoration**. Disponível em: <www.ser.org>. Acesso em: Agosto 2015.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest code. **Science**, Washington, v. 344, p. 363-364, 2014.

STARR, C. R.; CORRÊA, R. S.; FILGUEIRAS, T. S.; HAY, J. D. V.; SANTOS, P. F. Plant colonization in a gravel mine revegetated with *Stylosanthes* ssp. in a neotropical savanna. **Landscape and Ecological Engineering**, Tokyo, v. 9, n. 1, p. 189-201, 2013.

SUDING, K. et al. Committing to ecological restoration: Efforts around the globe need legal and policy clarification. **Science**, Washington, v. 348, n. 638, p. 638-640, 2015.

SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, Malden, v. 23, n. 3, p. 238-251, 2015.

VENTUROLI, F.; VENTUROLI, S.; BORGES, J. D.; CASTRO, D. S.; SOUZA, D. M.; MONTEIRO, M. M.; CALIL, F. N. Incremento de espécies arbóreas em plantio de recuperação de área degradada em solo de Cerrado no Distrito Federal. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 143-151, 2013.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

WORTLEY, L.; HERO, J.; HOWES, M. Evaluating ecological restoration success: A review of the literature. **Restoration Ecology**, Malden, v. 21, n. 5, p. 537-543, 2013.

YELENIK, S. G.; DIMANNO, N.; D'ANTONIO, C. M. Evaluating nurse plants for restoring native woody species to degraded subtropical woodlands. **Ecology and evolution**, Oxford, v. 5, n. 2, p. 300-313, 2015.

ZAWAHI, R. A.; HOLL, K. D.; COLE, R. J.; REID, J. L. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, p. 88-96, 2013.

CAPÍTULO I – USO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DO CERRADO NA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ÁREA ALTERADA PELO USO AGRÍCOLA DO SOLO

1. INTRODUÇÃO

Esforços aplicados no campo da ecologia da restauração têm buscado estabelecer elos entre teorias acerca do funcionamento dos ecossistemas e a aplicabilidade delas na prática da restauração ecológica (PERRING et al., 2015). Isso se reflete em estudos que destacam o potencial do emprego, nas ações de restauração, de estratégias baseadas em conhecimentos relacionados à dinâmica e montagem de comunidades naturais (ZAWAHI et al., 2013; YELENIK et al., 2015).

Dentre os mais importantes processos envolvidos na formação de comunidades, destaca-se a facilitação (MELO et al., 2015), que pode ser conceituada como a interação entre organismos na qual pelo menos um deles é beneficiado, sem causar prejuízos ao outro (BRUNO et al., 2003). Na literatura, a facilitação tem sido reportada principalmente em ambientes com condições severas, levando a crer que a frequência dessas interações tende a variar de acordo com gradientes relacionados às condições ambientais (SOLIVERES et al., 2014).

Partindo desse pressuposto, Bertness e Callaway (1994) propuseram um modelo que posteriormente foi batizado na literatura de “*stress-gradient hypothesis*” (SGH), defendendo que interações de facilitação têm maiores intensidades à medida que ocorre o aumento da severidade das condições ambientais. Diante disso, esse tipo de mecanismo apresenta potencial de aplicação na restauração de áreas que, devido à condição de intensa degradação, apresentam problemas relacionados ao estabelecimento da regeneração natural (VIEIRA et al., 1994; GÓMEZ-APARICIO et al., 2004). Entretanto, apesar de sua importância potencial, a facilitação tem sido um processo pouco estudado no âmbito de sua aplicação em atividades de restauração (MELO et al., 2015).

No Cerrado, as formas de reprodução e ritmos de crescimento de espécies arbóreas nativas são dificuldades quando se planeja a restauração ecológica, agravadas quando o sítio que se planeja restaurar encontra-se colonizado por espécies invasoras,

principalmente de gramíneas exóticas como o capim braquiária (*Urochloa* sp.) e o capim gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), devido à competição destas com as espécies nativas de crescimento lento (HOFFMAN; HARIDASAN, 2008; DURIGAN, 2013; FERREIRA et al., 2015). Diante desse cenário, foi proposto um modelo de restauração que buscou contornar as dificuldades em se restaurar ecossistemas no Bioma, denominado “Modelo Nativas do Bioma” (FELFILI et al., 2008), que busca prioritariamente estabelecer serviços ecossistêmicos, por meio do plantio de espécies do Bioma de crescimento relativamente rápido (aquelas típicas de ambientes florestais no domínio do Bioma) em conjunto com espécies savânicas de crescimento mais lento mas que contribuem com a estruturação e a diversidade dos ecossistemas em restauração (SAMPAIO; PINTO, 2007; AQUINO et al. 2009, DURIGAN, 2013).

O modelo parte do pressuposto que o plantio misto que inclua espécies de rápido crescimento irá apresentar taxa de cobertura do solo mais rápida do que plantio com utilização exclusiva de espécies típicas de ambientes savânicos. Dessa forma, modificações ambientais proporcionadas por estas espécies de rápido crescimento dificultariam o estabelecimento de gramíneas invasoras e facilitariam a regeneração natural e o desenvolvimento de espécies nativas (FELFILI et al., 2008).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar uma área alterada pelo uso agrícola submetida à restauração por meio do Modelo Nativas do Bioma, analisando o desempenho de espécies plantadas e investigando se algumas dessas espécies estariam cumprindo a premissa de conter a colonização por espécies exóticas (especialmente as do gênero *Urochloa* sp., abundantes na área de estudo) e promover a facilitação da regeneração de espécies lenhosas. Para isso, formularam-se as seguintes questões:

(I) Quais espécies destacaram-se em crescimento na área em processo de restauração? (II) Espécies potenciais facilitadoras estariam promovendo modificações em características abióticas no micro-habitat abaixo de suas copas? (III) Essas modificações refletiriam-se em menor cobertura do solo por gramíneas exóticas e maior densidade e riqueza de espécies lenhosas regenerantes nos micro-habitats abaixo de suas copas?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo consiste de plantio de restauração localizado em Paracatu, município da mesorregião noroeste do estado de Minas Gerais. Anteriormente ao plantio de restauração, a área foi utilizada para o cultivo de cana-de-açúcar por mais de 10 anos. Atualmente, a área em processo de restauração encontra-se delimitada por um cultivo de cana-de-açúcar em pivô central e por uma represa, utilizada como reservatório artificial de água (17°13'25.71"S, 46°36'32.08"O) (Figura 1).

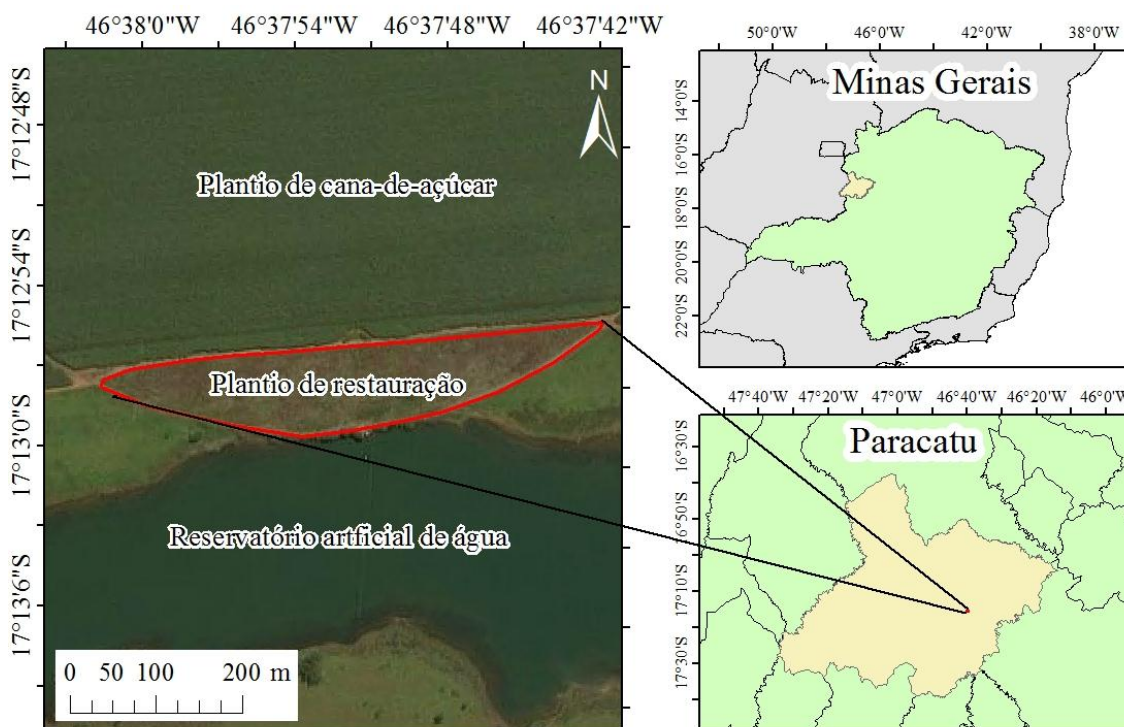


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

O clima da região, segundo o sistema de classificação de Köppen, é megatérmico (Aw), com inverno seco (ALVARES et al., 2014). Os períodos climáticos são bem definidos: a estação chuvosa se concentra no período de outubro a março, e a estação seca no período de abril a setembro, com precipitação média anual de 1.314 mm. A temperatura média anual é de 23 °C, a média do mês mais frio de 16,5 °C e a do mês mais quente chega a 29,5°C (INMET, 2017). O solo que predomina na região é o

Latossolo Vermelho distrófico, em relevos que variam de planos à suave ondulados (MARQUES et al., 2012).

O plantio de restauração ocorreu em dezembro de 2010, realizado em linhas onde foram plantadas 5.513 mudas de 36 espécies arbóreas nativas do Bioma Cerrado, em covas circulares abertas mecanicamente com dimensões de 30 cm x 60 cm (diâmetro x profundidade), adotando espaçamento de 3 m x 3 m e ocupando área de 5,32 ha. Nas covas foram aplicados 150 g de calcário dolomítico, 100 g de NPK (4-30-16) e 1,0 kg de esterco de gado curtido, objetivando a melhoria do estado de acidez e fertilidade do solo.

2.2. Coleta de dados

Em fevereiro de 2016 (62 meses pós-plantio) foram demarcadas dez parcelas de 20 x 20 m para avaliar o desempenho das espécies plantadas. Nas parcelas, foram amostrados todos os indivíduos arbóreos plantados que apresentavam diâmetros à altura de 30 cm do solo (DAS) \geq 5 cm. Os indivíduos tiveram as seguintes características mensuradas: DAS (cm); Altura total (HT, em m); e Diâmetro de Copa (COPA, em m), esta última variável estimada pela média entre o maior e o menor diâmetro da projeção da copa sobre o solo.

Foram retiradas 20 amostras simples de solo em pontos distribuídos aleatoriamente no interior de cada uma das dez parcelas, na camada superficial (0-20 cm), que formaram cinco amostras compostas representativas da área de estudo (uma amostra composta representativa de duas parcelas consecutivas), utilizadas para caracterizar o estado de fertilidade e acidez do solo. Essas amostras foram armazenadas em latas de alumínio para posteriormente serem analisadas no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) da UnB, seguindo o protocolo descrito em EMBRAPA (2011).

Após a estimativa dos parâmetros dendrométricos, foram selecionadas três espécies para investigar o potencial de facilitação. Selecionaram-se aquelas que apresentaram, simultaneamente, bons desenvolvimentos em HT, DAS e COPA (relativos às demais espécies), abundância na área de estudo e que fossem caracterizadas na literatura como potenciais para uso em plantios de restauração.

No interior das parcelas que foram utilizadas para a amostragem das mudas plantadas (parcelas de 20 m x 20 m), foram feitas parcelas circulares de 10 m², demarcadas ao redor de árvores de cada uma das três espécies selecionadas com base nos critérios anteriormente descritos, tendo a árvore como centro da parcela. Dessa forma, considerou-se que no interior dessas parcelas (ou micro-hábitats) ocorre influência dessas árvores que estão em seus centros, o que possibilitaria avaliar o potencial de facilitação. Dez árvores de cada uma das três espécies foram sorteadas para que seus micro-hábitats fossem investigados. Evitou-se demarcar parcelas em árvores que se encontravam sobrepostas por copas de outras árvores. Também foram demarcadas 10 parcelas circulares de 10 m² em clareiras geradas pela morte de mudas plantadas, distribuídas ao longo da área de estudo (Figura 2).



Figura 2. Demarcação de parcela circular em clareira gerada pela morte de mudas plantadas na área em processo de restauração, Paracatu, MG.

A cobertura de solo por gramíneas exóticas nesses micro-hábitats foi estimada com o auxílio de um gabarito metálico com dimensões de 50 x 50 cm, reticulado em seu interior com 25 quadrados de 10 x 10 cm, lançado aleatoriamente quatro vezes em cada unidade amostral. Em cada um dos quadrados reticulados foi estimada visualmente a porcentagem de cobertura do solo, para posteriormente se obter uma média oriunda dos valores observados nos 25 retículos. Além disso, foram registrados o número de indivíduos e a riqueza de espécies lenhosas regenerando nas parcelas de 10 m².

Em março de 2016 foram avaliadas variáveis abióticas para verificar se fatores ambientais poderiam estar associados às diferenças na cobertura do solo nos micro-habitats, sendo elas:

1) Umidade gravimétrica do solo (%): estimada por meio de amostras compostas de quatro amostras simples retiradas na camada superficial das parcelas circulares de cada um dos quatro tipos de micro-habitats investigados. Para determiná-la, as amostras tiveram suas massas úmidas pesadas em campo no momento da coleta e posteriormente foram conduzidas ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), onde foram secas em estufa de circulação forçada, em temperatura de 105 °C durante 48 horas, obtendo-se a massa seca. Desse modo, os teores de umidade puderam ser determinados utilizando a equação 1:

$$u = (m_u - m_s)/m_s * 100 \quad (1)$$

Em que: u = umidade gravimétrica, em %; m_u = massa úmida, em g; m_s = massa seca, em g.

2) Resistência do solo à penetração (MPa): estimada com o auxílio de um penetrômetro de impacto, modelo Stolf, por meio de três medidas em cada parcela circular até os 40 cm de profundidade, tendo os dados de resistência à penetração sido processados de acordo com Stolf et al. (2014) para a camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-40 cm);

3) Luminosidade (%): Mensurada com o auxílio de um luxímetro (marca Instrutherm, modelo LD 300) por meio de quatro medições tomadas a 1 m de distância do tronco e 1,30 m acima do solo, seguindo metodologia semelhante à realizada por Melo et al. (2015), sendo que as medições de luminosidade foram realizadas em um dia sem nuvens, entre as 10 da manhã e as 13 horas.

2.3. Análises de dados

Efetuuou-se *Principal Component Analysis* (PCA) para visualizar quais espécies arbóreas plantadas se destacaram quanto ao desenvolvimento na área em processo de restauração. A seleção do número de componentes empregados na interpretação de dados de uma PCA é um critério empírico na literatura, e é comum indicarem que se devem utilizar aqueles componentes que juntos acumulam pelo menos 70% da variação total dos dados, informação dada pelos autovalores de cada componente (GUEDES et

al., 2012; HONGYU et al., 2015; PRADO et al., 2016). Portanto no presente estudo utilizamos quantos componentes fossem necessários para acumular ao menos 70% da variação total.

No estudo da facilitação realizaram-se testes paramétricos para comparar características bióticas e abióticas nos micro-habitats investigados. Tendo em vista que testes paramétricos devem atender aos pressupostos de normalidade da distribuição dos erros e homogeneidade das variâncias, aplicaram-se os testes Jarque-Bera com 10.000 permutações e Levene, respectivamente, ao banco de dados. Para atender estes pressupostos, os valores das variáveis cobertura por gramíneas exóticas e luminosidade, expressas em porcentagens, foram transformadas aplicando-se a equação $\arcseno(\sqrt{p/100})$, conforme recomendação de Zar (2010). Para a variável umidade gravimétrica, aplicou-se a transformação Box-Cox, conforme realizado por Zanette et al. (2007). Posteriormente foram realizadas Análises de Variâncias (ANOVA). Quando as hipóteses nulas destas foram rejeitadas, diferenças nas médias foram investigadas por meio de testes Tukey.

Para as variáveis número de indivíduos e riqueza de espécies, por se tratarem de valores de contagem (variáveis discretas), não adequados às análises paramétricas tradicionais, foi verificado por meio da função *descdist* do pacote *fitdistrplus* (DELIGNETTE-MULLER et al., 2016) que os dados adequavam-se à distribuição de Poisson. Dessa forma, empregaram-se modelos lineares generalizados (função *glm*) da família Poisson e teste Tukey (função *glht* do pacote *multcomp*, HOTHORN et al., 2016) para a comparação dessas variáveis nos micro-habitats.

O efeito das variáveis ambientais na cobertura do solo por gramíneas, assim como no número e riqueza de indivíduos lenhosos regenerantes foi verificado por meio de modelos lineares generalizados mistos (GLMM), utilizando a função *glmer* do pacote *mlmRev* (BATES et al., 2014). Para checar se os modelos gerados apresentaram *overdispersion*, também foi utilizada a função *dispersion_glmer* do pacote *blmecc* (KORNER-NIEVERGELT et al., 2015). Estimaram-se coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis que apresentaram efeitos significativos nos modelos por meio da função *cor*.

Foram utilizados os softwares Past v. 2.17c (HAMMER et al., 2001) e R 3.3.2 (R CORE TEAM, 2016) para analisar os dados, adotando-se como nível de significância $\alpha \leq 0,05$.

3. RESULTADOS

3.1. Fertilidade do solo na área de estudo

As análises laboratoriais das amostras compostas da área de estudo indicaram que o solo, em sua camada superficial (0-20 cm) pode ser classificado como ácido, com alta saturação por alumínio ($m > 50\%$), de acordo com as tabelas de interpretação propostas por Sousa e Lobato (2004). A CTC a pH 7 (T) pode ser considerada como adequada (T entre 12,1 e 18,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), assim como os teores de cálcio e magnésio (Ca+Mg entre 1,5 e 7,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e também a matéria orgânica (MO entre 2,4 e 3,0 dag kg^{-1}). Os teores de fósforo (P) e potássio (K) podem ser classificados como altos ($P > 12 \text{ mg dm}^{-3}$ e $K > 80 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 1).

Tabela 1. Médias das características químicas do solo (0-20 cm) na área em processo de restauração na margem de reservatório artificial de água, Paracatu, MG.

pH	P	K	H+Al	Al ³⁺	Ca+Mg	SB	t	T	MO	V	m
(H ₂ O)	--- mg dm ⁻³ ---				cmol _c dm ⁻³				-dag kg ⁻¹	----- % -----	
4,4	36,8	181,5	6,94	1,75	4,83	5,29	7,04	12,23	2,88	43,10	25,11

3.2. Crescimento das espécies arbóreas plantadas

Os maiores valores para as variáveis dendrométricas avaliadas nas árvores da área em processo de restauração ocorreram em *Peltophorum dubium*, que apresentou médias para diâmetro à altura de 30 cm do solo (DAS) de 17,47 cm, altura total (HT) de 6,8 m e diâmetro da copa (COPA) de 7,3 m. Os menores valores ocorreram na espécie *Dipteryx alata*: 6,18 cm, 3,3 m e 2,1 m, respectivamente (Tabela 2).

A espécie *Jacaranda cuspidifolia* apresentou médias de DAS, HT e COPA relativamente próximas às de *D. alata*, sendo ambas as espécies caracterizadas como típicas de fitofisionomias savânicas. Entretanto, esse padrão não foi repetido por *Astronium fraxinifolium*, que também caracterizada por ocorrer preferencialmente em ambientes savânicos, mas que apresentou métricas intermediárias (10,34 cm de DAS, 4,8 m de HT, e 2,5 m de COPA) e próximas à média geral (Tabela 2).

Tabela 2. Características dendrométricas das 10 espécies mais abundantes registradas na área em processo de restauração na margem de reservatório de água, aos 62 meses pós-plantio, Paracatu, MG.

Espécie	Família	DAS (cm)	HT (m)	COPA (m)	FITO
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Fabaceae	17,47 ± 0,95	6,8 ± 0,7	7,3 ± 0,8	F
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Fabaceae	14,27 ± 1,48	6,6 ± 0,9	5,3 ± 0,9	F
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Combretaceae	11,22 ± 0,73	6,0 ± 0,5	3,5 ± 0,4	F
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Anacardiaceae	11,20 ± 0,58	5,9 ± 0,6	5,1 ± 0,7	F
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. Ex DC) Mattos	Bignoniaceae	9,15 ± 0,68	5,0 ± 0,4	2,4 ± 0,4	F
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Anacardiaceae	10,34 ± 0,59	4,8 ± 0,8	2,5 ± 0,4	S
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Fabaceae	6,59 ± 0,64	4,6 ± 1,4	2,6 ± 0,9	F
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Fabaceae	6,19 ± 0,28	4,0 ± 0,6	2,6 ± 0,5	S
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Fabaceae	6,18 ± 0,52	3,3 ± 0,4	2,1 ± 0,4	S
<i>Acacia glomerosa</i> Benth.	Fabaceae	7,27 ± 0,57	3,3 ± 0,3	2,1 ± 0,5	F
Média Geral	-	10,74 ± 2,59	5,3 ± 0,3	3,8 ± 0,4	-

Em que: DAS = Diâmetro à altura de 30 cm do solo (cm); HT = Altura total (m); COPA = Diâmetro da copa (m); FITO = Fitofisionomia de ocorrência preferencial F = Fisionomias florestais; S = Fisionomias savânicas.

Seis das 10 espécies mais abundantes pertencem à família Fabaceae, e entre essas espécies estão as duas que apresentaram maiores valores para as médias de HT e COPA – *Anadenanthera colubrina* e *P. dubium*.

Os dois primeiros componentes principais da PCA gerada com base nas variáveis dendrométricas mensuradas nos indivíduos das 10 espécies mais abundantes explicaram ao todo 90,22% da variação total. A correlação das variáveis utilizadas na análise e o primeiro componente principal foram de: 0,896 para DAS, 0,894 para HT e 0,8959 para COPA. Quanto às correlações com o segundo componente, a variável que apresentou maior valor foi HT (0,442).

O resultado da PCA permitiu visualizar a formação de dois grupos: à direita do diagrama houve tendência de agrupamento das espécies *P. dubium*, *A. colubrina*, *Lithraea molleoides* e *Terminalia argentea*, mais próximas às setas que indicam DAS, HT e COPA, enquanto que as demais espécies agruparam-se do lado esquerdo (Figura 3). As quatro espécies que se agruparam apresentaram médias relativamente altas para todas as variáveis dendrométricas estudadas, com valores superiores a média geral das 10 espécies mais abundantes (Tabela 2).

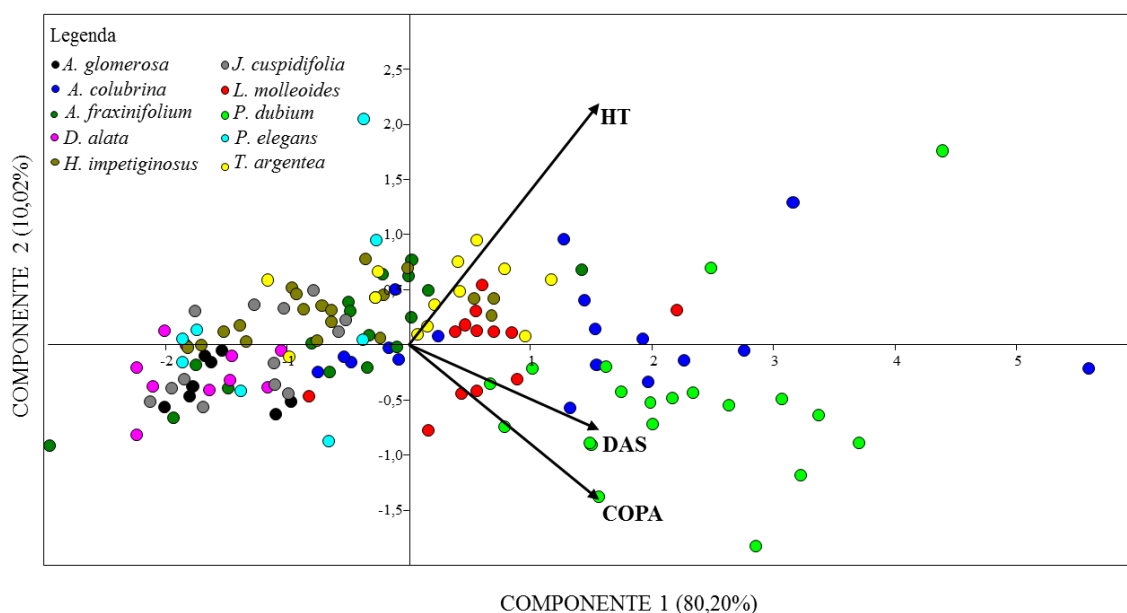


Figura 3. Diagrama de ordenação com base nas variáveis dendrométricas mensuradas em indivíduos das 10 espécies mais abundantes na área de estudo. DAS = Diâmetro à altura de 30 cm do solo; HT = Altura total; COPA = Diâmetro da Copa.

3.2. Potencial de facilitação de espécies florestais plantadas

As espécies *Lithraea molleoides*, *Terminalia argentea* e *Peltophorum dubium* apresentaram bom desenvolvimento em diâmetro, altura e diâmetro de copa, e abundância de indivíduos na área de estudo. Estas três espécies são apontadas na literatura como indicadas para projetos de restauração no Cerrado, devido às boas capacidades de estabelecimento em áreas perturbadas e degradadas (CARVALHO, 2006; FERREIRA et al., 2009; GOMES et al., 2014; VERONESI et al., 2014; BERTOLINI et al., 2015; CALGARO et al., 2015; ALVARENGA et al., 2016). Dessa forma, elas foram selecionadas para o estudo da facilitação, tendo os micro-habitats abaixo de suas copas investigados para comparações entre si e com os de clareiras presentes na área de estudo.

As copas das árvores das três espécies supracitadas apresentaram diferenças significativas quanto à interceptação de radiação solar quando comparadas com as clareiras, e também quando comparadas entre si ($F = 3,967$; $p < 0,05$): O micro-habitat clareira foi o que apresentou maior incidência solar, com 100% de luminosidade, seguida de micro-habitat abaixo das copas de *P. dubium* (13,7%) e de *T. argentea* (10,09%), e o menor valor ocorreu abaixo da copa de *L. molleoides* (4,1%) (Figura 4A).

Na camada superficial do solo no micro-habitat abaixo das copas de *P. dubium* houve a menor média de umidade gravimétrica (13,72%), significativamente inferior às demais ($F = 7,05$; $p < 0,01$). Era de se esperar que as médias de umidade nas clareiras (15,23%) fossem menores do que as demais áreas, devido à maior incidência de radiação solar, que promove aumento da temperatura e conseqüentemente maior evaporação da água e maior taxa de transpiração. Entretanto não houve diferença estatisticamente significativa com relação àquelas registradas em *L. molleoides* (15,59%) e em *T. argentea* (15,61%) (Figura 4B).

Quanto aos valores de resistência à penetração, na camada de 0-20 cm não ocorreram diferenças significativas entre os quatro micro-habitats, com valores médios variando entre 11,0 e 13,2 MPa. Por outro lado, na camada de 20-40 cm houve diferenças significativas entre os micro-habitats ($F = 14,33$; $p < 0,01$), com maiores resistências em *L. molleoides* e *T. argentea* (13,9 e 15,2 MPa, respectivamente). O teor de umidade pode influenciar significativamente a resistência do solo à penetração, de modo que menores umidades refletem em maiores resistências, conforme descrito por Reichert et al. (2007). No entanto, apesar de o teor de umidade no micro-habitat de *P. dubium* ter sido menor que nos demais, aquele apresentou a menor média para essa variável na camada de 20-40 cm (10,71 MPa), porém não significativamente diferente da média observada nas clareiras (11,26 MPa) (Figura 4C).

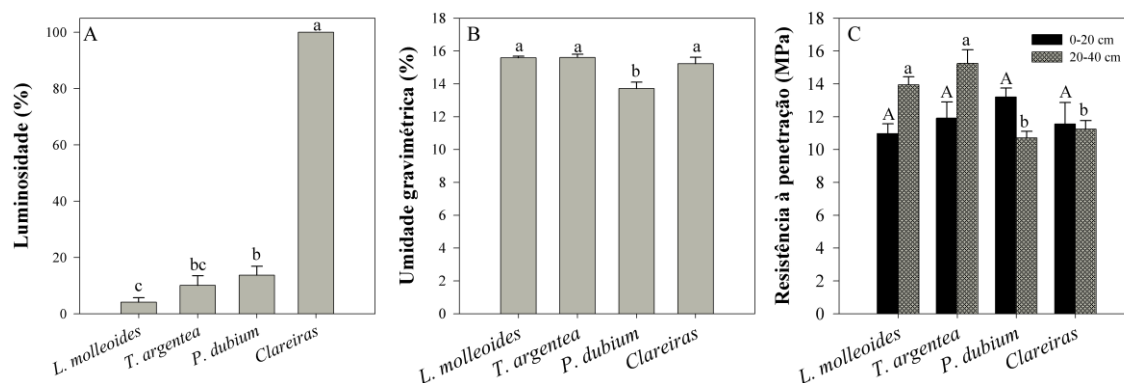


Figura 4. Variáveis abióticas investigadas nos micro-habitats abaixo das copas de espécies nativas plantadas e em clareiras na área de estudo. (A) Luminosidade; (B) Umidade gravimétrica do solo; (C) Resistência do solo à penetração nas camadas superficial e subsuperficial. Letras iguais não diferem pelo teste Tukey, $p < 5\%$.

A cobertura do solo por gramíneas exóticas nas clareiras foi relativamente elevada (83,2%). Os valores encontrados nos micro-habitats abaixo das copas das três espécies investigadas foram inferiores, sendo que para as três espécies não foram

observadas diferenças significativas entre si (10,7%, 22,9% e 13,2% abaixo das copas de *L. molleoides*, *T. argentea* e *P. dubium*, respectivamente), porém apresentando médias significativamente menores ao se comparar com as clareiras ($F = 23,53$; $p < 0,01$) (Figura 5A).

Foram contabilizados 134 indivíduos lenhosos regenerando nas 40 parcelas circulares utilizadas no estudo da facilitação, em maioria espécies subarbusivas (plantas de base lenhosa e ápice herbáceo) ou arbustivas (plantas lenhosas ramificadas desde a base) (RICHARDS, 1996), com poucas espécies arbóreas. Nas clareiras (cerca de 4 indivíduos por clareira) e abaixo das copas de *P. dubium* (cerca de 7 indivíduos) as médias do número de indivíduos regenerantes foram significativamente maiores do que abaixo das copas de *T. argentea* (próximo de 2 indivíduos) e de *L. molleoides* (cerca de 1 indivíduo). Com relação à riqueza, não houve diferenças significativas entre os quatro micro-habitats, com esse parâmetro variando de cerca de 1 espécie abaixo das copas de *L. molleoides* a 2 espécies abaixo das copas de *P. dubium* (Figura 5B).

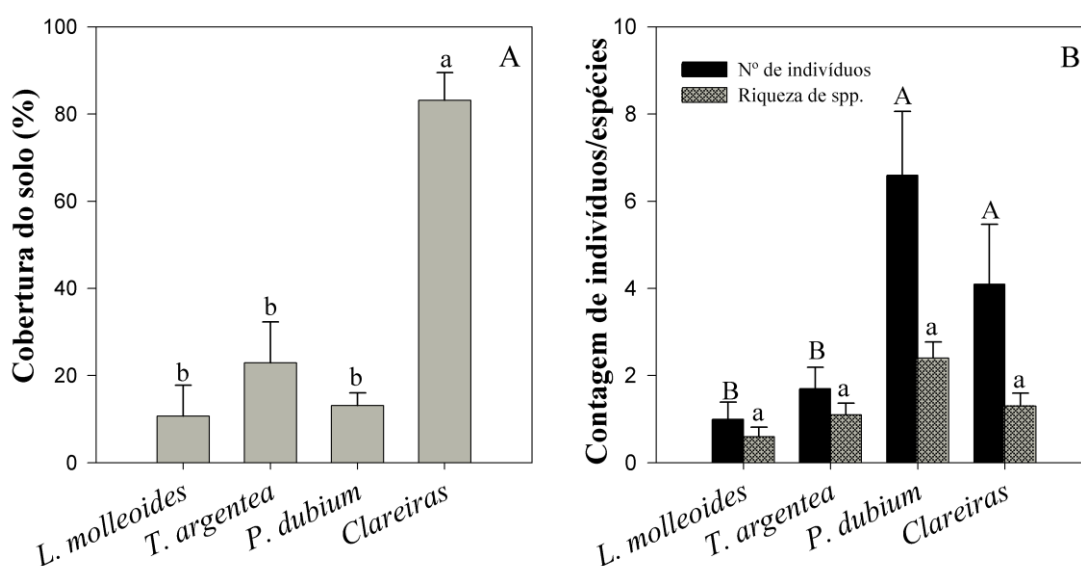


Figura 5. Variáveis bióticas investigadas nos micro-habitats abaixo das copas de espécies nativas plantadas e em clareiras distribuídas na área de estudo. (A) Cobertura do solo por gramíneas exóticas, Letras iguais não diferem pelo teste Tukey, $p < 5\%$. (B) Número de indivíduos e riqueza de espécies lenhosas regenerando nos micro-habitats. Letras iguais maiúsculas não diferem em Nº de indivíduos, letras iguais minúsculas não diferem em Riqueza de spp., pelo teste Tukey, $p < 5\%$.

Por meio dos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) foi constatado que a variável luminosidade foi a única a influenciar a porcentagem de cobertura por

gramíneas exóticas. Já a resistência à penetração na camada de 20-40 cm (RP 20-40 cm) foi a única variável com efeito sobre o número de indivíduos lenhosos regenerando nas unidades amostrais. Quanto à riqueza de espécies regenerantes, as análises não constataram efeito de nenhuma das variáveis investigadas (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes e significância (valor de p entre parênteses) dos efeitos de variáveis preditoras (abióticas) utilizadas nos GLMMs para as variáveis respostas (bióticas).

Variáveis preditoras	Variáveis respostas		
	Cobertura por gramíneas exóticas	Número de regenerantes	Riqueza de regenerantes
Luminosidade	0,0205 (0,00)*	0,0003 (0,93)	-0,0001 (0,97)
Umidade gravimétrica	-0,0296 (0,68)	-0,1215 (0,42)	-0,1487 (0,22)
Resistência à penetração (0-20 cm)	-0,0052 (0,83)	0,0563 (0,42)	0,0559 (0,36)
Resistência à penetração (20-40 cm)	0,0712 (0,18)	-0,2501 (0,00)*	-0,0655 (0,36)

* $p < 0,01$.

O coeficiente de correlação de Spearman (r^2) entre a cobertura por gramíneas exóticas e a radiação solar foi equivalente à -0,69 ($p < 0,01$). Entre o número de indivíduos lenhosos e RP 20-40 cm, o r^2 foi equivalente a -0,58 ($p < 0,01$).

4. DISCUSSÃO

4.1. Fertilidade do solo na área de estudo

Solos de baixa fertilidade e alta acidez, como os Latossolos, predominam no Cerrado. Essas características ocorrem nesses solos devido ao elevado grau de intemperismo, remoção de bases trocáveis e de sílica do perfil e consequente enriquecimento relativo em óxidos de Fe e Al (SANTOS, 2013; RODOLFO JUNIOR et al., 2015). Na região onde a área de estudo insere-se, Marques et al. (2012) apontam o predomínio de Latossolos vermelhos com fortes limitações de fertilidade.

O solo da área em processo de restauração apresenta teores adequados de Ca e Mg e bons teores de P e K (SOUSA; LOBATO, 2004). Esse fato pode estar relacionado ao histórico da área, que anteriormente ao plantio de restauração foi utilizada para o cultivo de cana-de-açúcar por mais de 10 anos. De acordo com Oliveira et al. (2011), essa cultura tem a capacidade de exportar quantidades elevadas de nutrientes do solo,

principalmente K, o que demanda a necessidade de aplicações periódicas para suprir as necessidades nutricionais das plantas.

Adubações periódicas durante os ciclos do cultivo da cana-de-açúcar mantiveram ou até melhoraram a fertilidade local, pelo efeito residual das adubações, conforme pôde ser constatado pelos resultados das análises químicas.

4.2. Crescimento das espécies arbóreas plantadas

Os resultados indicam que as espécies mais abundantes na área em processo de restauração apresentaram, em geral, desenvolvimentos em altura e diâmetro maiores do que os observados em outros estudos que avaliaram o crescimento de espécies nativas em plantios de restauração no Cerrado, expostos a seguir:

Oliveira et al. (2015) registraram, numa área perturbada, que o plantio de restauração em que as medições foram realizadas cinco anos pós-plantio, foram utilizadas três espécies em comum. As espécies *Dipteryx alata*, *Astronium fraxinifolium* e *Anadenanthera colubrina* apresentaram médias de alturas de 1,20 m, 0,54 m e 1,78 m naquele estudo, que correspondem a 36,3 %, 11,25 % e 26,9 % das médias observadas para essas espécies no presente estudo. Quanto aos diâmetros, essas três espécies apresentaram médias de 3,25 cm, 0,9 cm e 2,52 cm naquele estudo, que correspondem a 52,58%, 8,70% e 17,65% das registradas no presente estudo.

Em trabalho realizado por Freitas (2012), avaliando o crescimento de espécies nativas do Cerrado após cinco anos do plantio, espécies em comum com o presente estudo - *Peltophorum dubium*, *Lithraea molleoides*, *Terminalia argentea* e *Handroanthus impetiginosus* – também apresentaram médias de alturas consideravelmente inferiores, com exceção de *P. dubium*, que naquele trabalho apresentou maior média de altura (aproximadamente oito metros).

Os valores relativamente altos para as variáveis dendrométricas podem estar relacionados à qualidade química do solo agrícola que foi convertido em área de restauração. Na literatura, trabalhos vêm apontando que o crescimento de espécies típicas de ambientes florestais do Bioma Cerrado pode apresentar respostas significantes à fertilização dos solos (FELFILI; SANTOS, 2002, MELO et al., 2004, PEREIRA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015). Conforme exposto anteriormente, os resultados das análises indicaram que o solo da área em processo de restauração tem

teores de P, K, Ca e Mg que podem ser classificados como bons, além da CTC adequada (SOUSA; LOBATO, 2004). Essas características podem ser justificadas pelo efeito residual do longo período de cultivos agrícolas conduzidos anteriormente ao plantio de restauração.

Esperava-se que as três espécies savânicas apresentassem menores médias para as variáveis dendrométricas, devido aos seus ritmos de crescimento serem caracterizados, em geral, como lentos (PINTO et al., 2007). No entanto, *A. fraxinifolium* cresceu em ritmos similares à maior parte das espécies florestais, e isso se deve ao caráter pioneiro dessa espécie, que tem bom potencial de estabelecimento e crescimento em áreas com alterações antrópicas significativas (LORENZI, 2008, SANTOS; VIEIRA, 2005).

As árvores de *P. dubium* e *A. colubrina*, ambas da família Fabaceae, destacaram-se em crescimento, e na ocasião das coletas de campo, muitos indivíduos da primeira espécie apresentavam flores e frutos, indicando que já atingiram estágio reprodutivo (Figura 6). O desenvolvimento em diâmetro, altura e diâmetro de copa na área em processo de restauração corrobora com apontamentos de diversos trabalhos relatando o potencial de estabelecimento e crescimento em áreas perturbadas e degradadas e a importância de fertilidade do solo adequada para favorecer o crescimento dessas espécies florestais (VENTURIN et al., 1999, KENNARD; GHOLZ, 2001, MORAES NETO et al., 2003, MELO et al., 2004, FERREIRA et al., 2007, OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, confirma-se também a importância da utilização de espécies da família Fabaceae, frequentemente utilizadas em programas de restauração devido às melhorias das condições do solo que podem promover, sendo apontadas como potenciais facilitadoras da sucessão ecológica (TOSCAN et al., 2014).



Figura 6. Coleta de material botânico de *Peltophorum dubium* na área de estudo, evidenciando a presença de material reprodutivo (frutos verdes).

A espécie *P. dubium* é descrita como longeva, mas com algumas características de pioneira, sendo heliófila, rústica e de crescimento rápido, amplamente utilizada em plantios de restauração devido aos elevados níveis de sobrevivência, crescimento, acumulação de biomassa. Essa árvore também é apontada como capaz de favorecer o desenvolvimento de espécies de sombra (BERTOLINI et al., 2015).

As espécies *T. argentea* e *L. molleoides* também destacaram-se em crescimento, apresentando médias relativamente próximas para diâmetros e alturas, além de estarem próximas das espécies de maior crescimento no diagrama da PCA (Figura 3). Embora a maioria dos trabalhos caracterize-as como de ocorrência preferencial em fisionomias florestais (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002; MEDRI et al., 2007; PILON; DURIGAN, 2013), alguns autores apontam comportamento mais generalista para as espécies (DIAS et al., 2007, MARQUETE; LOIOLA, 2015). Calgaro et al. (2015), avaliando uma área em processo de restauração, relatam que indivíduos de *T. argentea* estabeleceram-se tanto em áreas altamente antropizadas e com fertilidade reduzida, quanto em áreas menos antropizadas e com melhores condições de fertilidade do solo, indicando plasticidade da espécie.

T. argentea é caracterizada como espécie pioneira e heliófita, decídua de ocorrência preferencial em solos bem drenados e secos, e que produz anualmente

grandes quantidades de sementes viáveis (SILVA et al., 2004, OTSUBO et al., 2015). *L. molleoides* também é uma espécie pioneira e heliófita (LORENZI, 2008), porém perenifólia. Sua dispersão é feita por animais, e Ferreira et al. (2009) apontam que a regeneração natural da espécie tem facilidade em colonizar áreas perturbadas. Do mesmo modo, Carvalho (2006) aponta que as espécies apresentam grande potencial de uso em programas de restauração.

Com base nessas características, e devido a abundância na área de estudo, *Lithraea molleoides*, *Terminalia argentea* e *Peltophorum dubium* foram selecionadas para o estudo da facilitação.

4.3. Potencial de facilitação de espécies florestais plantadas na área em processo de restauração

As três espécies avaliadas como potenciais facilitadoras (*Lithraea molleoides*, *Terminalia argentea* e *Peltophorum dubium*) cumpriram a premissa proposta pelo Modelo Nativas do Bioma. Elas cresceram rapidamente e controlaram, nos locais onde estão crescendo, a cobertura do solo onde anteriormente dominavam as gramíneas exóticas, especialmente *Urochloa* sp. Durigan (2013) afirma que, nos casos onde houve supressão da vegetação nativa e alteração do solo, o plantio de espécies suficientemente rústicas para sobreviver à braquiária é uma das técnicas mais viáveis de restauração.

Esses resultados corroboram em parte com os encontrados por Passos et al. (2014) e Melo et al. (2015), que verificaram efeito de seis espécies nativas do Bioma Cerrado - *Solanum lycocarpum*, *A. colubrina*, *Croton floribundus*, *Inga laurina*, *Inga vera*, *Schinus terebenthifolius* e *Syzygium cumini* - no controle da gramínea exótica. Esses autores também apontam que algumas das espécies investigadas foram capazes de facilitar o estabelecimento da regeneração, apresentando maior densidade e riqueza de indivíduos lenhosos abaixo de suas copas quando comparados com clareiras (o que não ocorreu no presente estudo).

O mecanismo que ocasiona o efeito positivo de plantas facilitadoras na densidade e riqueza de regenerantes lenhosos abaixo de suas copas varia entre os trabalhos que tratam do tema. Duarte et al. (2006), avaliando o potencial de facilitação de espécies arbóreas isoladas em meio à gramíneas, indicam que árvores que possuam frutos atrativos para a fauna apresentam maior densidade de regenerantes abaixo de suas

copas, uma vez que essa característica favorece a chuva de sementes de espécies dispersadas por animais. Melo et al. (2015) afirmam que árvores com copas mais altas e caducifólias permitem entrada de quantidades ótimas de luz, beneficiando a abundância e diversidade dos regenerantes.

As espécies *P. dubium* e *T. argentea* apresentaram resultados semelhantes em relação à interceptação de luz (Figura 4A). No entanto, a primeira apresentou maior abundância de regenerantes no micro-habitat abaixo de suas copas, levando a inferir que o fator luz não é o mais importante nesse contexto. Além disso, os resultados dos modelos GLMM (Tabela 3) indicaram que a luz não apresentou significância como preditora da densidade e riqueza de regenerantes. De maneira análoga, os resultados referentes à umidade gravimétrica também não apresentaram significância como preditores.

Entre os fatores abióticos que poderiam estar explicando mecanismos de facilitação, somente a resistência à penetração na camada de 20-40 cm esteve associada a efeitos no número de regenerantes. Assim, a redução do grau de compactação do solo favorece a ocorrência de maior número de indivíduos regenerando. Diversos trabalhos têm destacado a importância de se estimar a compactação na avaliação de fatores que podem estar influenciando o estabelecimento de regenerantes nativos em ações de restauração (GOMEZ-APARICIO, 2005; SIMMERS; GALATOWITSCH, 2010, PASSOS et al., 2014; YELENIK et al., 2015).

Latossolos de textura argilosa são susceptíveis à compactação, e esse fenômeno é comum em solos cultivados com cana-de-açúcar, devido ao frequente tráfego de máquinas pesadas nas fases do cultivo e colheita (SILVA; CASTRO, 2014). Outra provável causa da compactação é o fato de a área estar localizada na parte mais baixa de uma toposequência, onde o transporte e sedimentação natural de argilas, aliado a ciclos de umedecimento e secagem causam adensamento natural do solo (SILVA et al., 2002; REICHERT et al., 2007).

Embora não haja consenso acerca dos limites críticos de compactação para o crescimento de plantas, os valores de resistência à penetração apontados na literatura para culturas agrícolas geralmente estão entre 2,0 e 2,5 MPa (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993; SILVA et al., 2002; REICHERT et al., 2007; LIMA et al., 2014), sendo as médias encontradas de quatro a seis vezes maiores. Espera-se que espécies arbóreas suportem limites superiores, porém com restrição no crescimento. Sá e Santos Júnior (2005) indicam 3,0 MPa como valor limitante para espécies arbóreas.

Nesse contexto, *P. dubium* merece destaque entre as espécies estudadas como potenciais facilitadoras, pois apresentou melhor crescimento e os menores valores de resistência à penetração na camada subsuperficial do micro-habitat abaixo de suas copas (RP 20-40 cm = 10,71 MPa), acentuando o potencial facilitador da espécie. Carpanezzi e Carpanezzi (2006) apontam que a espécie possui adaptações a terrenos rasos ou pedregosos, onde se espera que ocorram condições limitantes ao crescimento das raízes. Menor RP (20-40 cm) no micro-habitat dessa espécie pode ser reflexo de alterações ocasionadas no subsolo pelo rápido crescimento da árvore, assim como o subsolo das clareiras parece estar sendo afetado pela vegetação exótica abundante, devido à menor RP (20-40 cm) encontrada também nesses micro-habitats.

A capacidade de modificar o habitat pode variar muito entre as espécies vegetais (GOMEZ-APARICIO et al., 2005). Verdu e Garcia-Fayos (1996) afirmam que a espécie *Pistacia lenticus* (arbusto de folhas perenes típica de bosques do mediterrâneo) é capaz de aumentar a macroporosidade do solo e conseqüentemente reduzir a resistência à penetração, beneficiando o estabelecimento da regeneração. Passos et al. (2014), avaliando o potencial de facilitação de *Solanum lycocarpum*, apresentam discussão sobre o papel de espécies que apresentem rápido desenvolvimento em altura e diâmetro no desencadeamento do processo de redução da compactação.

O efeito positivo de plantas forrageiras sobre solos com problemas de compactação também é reportado na literatura: Silva e Corrêa (2010) indicam que após dois anos da implantação de vegetação herbácea forrageira, a densidade do solo foi reduzida em 25%. Stumpf et al. (2016) também relatam efeitos positivos de gramíneas forrageiras na redução da compactação, atribuindo como causa disso a alta densidade de raízes dessas plantas que, ao crescerem, influenciam na reorganização de poros do solo por meio da formação de bioporos.

Apesar dos resultados terem indicado que gramíneas exóticas estariam proporcionando mitigações nas condições de compactação do solo na camada de 20-40 cm de profundidade, o uso desse tipo de vegetação em programas de restauração não é uma opção viável de acordo com diversos trabalhos, devido às suas agressivas capacidades de dispersão e colonização, em detrimento de espécies nativas, além de formarem material muito suscetível a incêndios na estação seca (SCHOLES; ARCHER, 1997; FELFILI et al., 2008; NERI et al., 2011, HOFFMANN; HARIDASAN, 2008; MODNA et al., 2010; MORENO, 2015).

Apesar das vantagens destacadas anteriormente, *Peltophorum dubium* não possui frutos ou flores eficientes em atrair animais dispersores de sementes de espécies arbóreas (CARPANEZZI; CARPANEZZI, 2006), e esse é um ponto que merece atenção na área em processo de restauração: a baixa proporção de regenerantes de hábito arbóreo. A grande distância a fragmentos de vegetação nativa e a baixa proporção de espécies zoocóricas, atrativas para a fauna frugívora e dispersora de sementes, pode estar comprometendo a dispersão de espécies desse tipo de hábito. Plantas arbóreas poderiam apresentar padrões de densidade e riqueza diferentes dos observados nos micro-habitats, onde se notou domínio de espécies subarbustivas e arbustivas.

Nos estudos de interações ecológicas entre espécies vegetais, nem sempre o micro-habitat de potenciais facilitadoras apresentam melhorias quanto ao estrato regenerante. Loik e Holl (2001), avaliando o crescimento de mudas de espécies florestais arbóreas nativas da Costa Rica abaixo de arbustos potenciais facilitadores (de mais de 10 espécies) e em áreas abertas, registraram maiores crescimentos das mudas nas áreas abertas, apontando que, embora os arbustos facilitem o recrutamento de regenerantes, à medida que estes crescem a interação tende a mudar para competição.

Dois espécies de arbustos investigadas por Galindo et al. (2017) não foram capazes de incrementar o número de regenerantes em relação às clareiras onde ocorre dominância de gramíneas. Os autores atribuem esse resultado a interceptação e limitação de luz pelos arbustos avaliados. Os autores também encontraram maiores proporções de espécies arbustivas em relação às arbóreas no estrato regenerante, atribuindo esse fato à distância de remanescentes de vegetação nativa e incapacidade de atração da fauna dispersora.

Na área do presente estudo, o uso agrícola do solo por longo período de tempo, tornou o banco de sementes de espécies de hábito arbóreo inexpressivo. Há também o fato de que nem todas as espécies plantadas atingiram a maturidade e a fenofase de produção de frutos, prejudicando a chuva de sementes oriunda da própria vegetação plantada, que poderiam potencializar a regeneração e evidenciar de maneira mais clara os efeitos da facilitação na área de estudo.

5. CONCLUSÕES

As espécies *Peltophorum dubium*, *Lithraea molleoides* e *Terminalia argentea* destacaram-se no plantio de restauração, se desenvolvendo rapidamente em diâmetro, altura e diâmetro de copa em uma área com problema de compactação do solo e presença de gramíneas exóticas;

Constatou-se que *Peltophorum dubium* esteve associada à redução do grau de compactação na camada subsuperficial (20-40 cm) do solo;

O sombreamento promovido pelas espécies potenciais facilitadoras foi suficiente para reduzir a cobertura por gramíneas exóticas abaixo de suas copas;

Não se notou aumento no número de regenerantes abaixo das copas das potenciais facilitadoras, o que esteve relacionado à ausência de banco de sementes viáveis no solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de não ter sido constatado efeito das potenciais facilitadoras no aumento do número e riqueza de regenerantes abaixo de suas copas, é importante que estudos que investiguem a facilitação como um mecanismo que acelera o processo de restauração no Cerrado continuem sendo realizados, englobando outras variáveis (como a fauna edáfica, por exemplo), outras espécies facilitadoras e testando essa interação por meio do plantio, abaixo das copas das potenciais facilitadoras, de espécies nativas de hábito arbóreo, tendo em vista que na área de estudo o banco de sementes de espécies desse hábito está comprometido.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. P.; BOTELHO, S. A.; PINHEIRO, A. C.; PEREIRA, I. M. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas na restauração de nascentes no sul de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 1239-1250. 2016.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em:

<http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf>. Acesso em: dez. 2016.

AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; PASSOS, F. B. **Módulos para recuperação do Cerrado com espécies nativas de uso múltiplo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 50p.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B. **Package “mlmRev”**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/mlmRev/index.html>>. Acesso em: 6 set. 2016.

BERTNESS, M. D.; CALLAWAY, R. M. Positive interactions in communities. **Trends in Ecology and Evolution**, Oxford, v. 9, p. 191-193, 1994.

BERTOLINI, I. C.; DEBASTIANI, A. B.; BRUN, E. J. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 2, p. 67-76, 2015.

BRUNO, J. F.; STACHOWICZ, J. J.; BERTNESS, M. D. Inclusion of facilitation into ecological theory. **Trends in Ecology and Evolution**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 119-125. 2003.

CALGARO, H. F.; BUZETTI, S.; SILVA, L. R.; STEFANINI, L.; MIRANDA, L. P. M.; MORAES, M. A.; MORAES, M. L. T. Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização e relação com os atributos químicos do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 233-243, 2015.

CARPANEZZI, A. A.; CARPANEZZI, O. T. B. **Espécies nativas recomendadas para recuperação ambiental no estado do Paraná, em solos não degradados**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006, 57p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa, 2006, v. 2, 627p.

DELIGNETTE-MULLER, M. L.; DUTANG, C.; POUILLOT, R. **Package “fitdistrplus”**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/fitdistrplus/index.html>>. Acesso em: 6 set. 2016.

DIAS, J.; PIMENTA, J. A.; MEDRI, M. E.; BOEGER, M. R. T.; FREITAS, C. T. Physiological aspects of sun and shade leaves of *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 50, n. 1, p. 91-99, 2007.

DUARTE, L. S.; SANTOS, M. M. G.; HARTZ, S. M.; PILLAR, V. D. Role of nurse plants in Araucaria Forest expansion over grassland in South Brazil. **Austral Ecology**, Hoboken, v. 31, p. 520-528, 2006.

DURIGAN, G. Reflexões sobre a restauração ecológica em regiões de Cerrado. In: **SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, V**. São Paulo, 2013. Anais..., Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, p. 33-37.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; PINTO, J. R. R. Recuperação de áreas degradadas no Cerrado com espécies nativas do bioma e de uso múltiplo para formação de corredores ecológicos e uso sustentável da reserva legal. In: FELFILI, J. M.; SAMPAIO, J. C.; CORREIA, C. R. M. A. (Orgs.) **Bases para a Recuperação de Áreas Degradadas na Bacia do São Francisco**. Brasília: Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD), 2008. p. 17-26.

FELFILI, J. M.; SANTOS, A. A. B. Direito ambiental e subsídios para a revegetação de áreas degradadas no Distrito Federal. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 4, n. 2, 135p, 2002.

FERREIRA, M. C.; WALTER, B. M. T.; VIEIRA, D. L. M. Topsoil translocation for Brazilian savana restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. **Restoration Ecology**, Malden, v. 23, n. 6, 2015.

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 177-185, 2007.

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. Estabelecimento de Mata Ciliar às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 69-81, 2009.

FREITAS, V. L. O. Restauração de áreas degradadas pela extração de ardósia, utilizando seus rejeitos, no município de Papagaio, Minas Gerais. 116 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GALINDO, V.; CALLE, Z.; CHARÁ, J.; ARMBRECHT, I. Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forest in the Central Andes of Colombia. **Restoration Ecology**, Malden, 2017.

GOMEZ-APARICIO, L.; ZAMORA, R.; GÓMEZ, J. M.; HÓDAR, J. A.; CASTRO, J.; BARAZA, E. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. **Ecological Applications**, Washington, v. 14, n. 4, p. 1128-1138, 2004.

GOMEZ-APARICIO, L.; VALLADARES, F.; ZAMORA, R.; QUERO, J. L. Response of tree seedlings to the abiotic heterogeneity generated by nurse shrubs: na experimental approach at different scales. **Ecography**, Lund, v. 28, n. 6, 2005.

GOMES, K. B. P.; MARTINS, R. C. C.; MARTINS, I. S.; GOMES JUNIOR; F. G. G. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae) pelo teste de raios X. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 752-759, 2014.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9. 2001.
- HOFFMANN, W. A.; HARIDASAN, M. The invasive grass, *Melinis minutiflora*, inhibits tree regeneration in a Neotropical Savanna. *Austral Ecology*, Hoboken, v. 33, p. 29-36. 2008.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. *Engineering and Science*, v. 1, n. 5, 2016.
- HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P.; HEIBERGER, R. M.; SCHUETZENMEISTER, A.; SCHEIBE, S. **Package “multcomp”**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/multcomp/>>. Acesso em: 6 set 2016.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas, 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: jan 2017.
- KENNARD, D. K.; GHOLZ, H. L. Effects of high and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. *Plant and Soil*, v. 234, n. 1, p. 119-129, 2001.
- KORNER-NIEVERGELT, F. **Package “blmeco”**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/blmeco/index.html>>. Acesso em: 6 set. 2016.
- LIMA, R. P.; SILVA, A. R.; OLIVEIRA, D. M. S. Análise de trilha de atributos físicos na resistência à penetração de um latossolo amarelo. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia, v. 1, n. 1, p. 65-74, 2014.
- LOIK, M. E.; HOLL, K. D. Photosynthetic responses of tree seedlings in grass and under shrubs in early-successional tropical old fields, Costa Rica. *Oecologia*, v. 127, p. 40-50, 2001.
- LORENZI, H. 2008. **Árvores brasileiras, Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5ª ed. Nova Odessa, São Paulo: Plantarum, v. 2, 2008, 384p.
- MARQUES, A. F. S. M.; MARTINS JUNIOR, P. P.; VASCONCELOS, V. V.; NOVAES, L. A. D. Proposição metodológica para a cartografia de solos e aptidão agrícola: Estudo de caso para a bacia do Rio Paracatu. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Pernambuco, v.1, p.1-17, 2012.
- MARQUETE, N.; LOIOLA, M. I. B. Combretaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB16896>>. Acesso em: 6 jan. 2017.
- MEDRI, M. E.; FERREIRA, A. C.; KOLB, R. M.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DAVANSO-FABRO, V. M.; MEDRI, C. Alterações morfoanatômicas em plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. submetidas ao alagamento. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, Maringá, v. 29, n. 1, p. 15-22.

MELO, A. C. G.; DARONCO, C.; RÉ, D. S.; DURIGAN, G. Atributos de espécies arbóreas e a facilitação da regeneração natural em plantio heterogêneo de mata ciliar. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 333-344, 2015.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G.; KAWABATA, M. Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em área de Cerrado, Assis – SP. In: BÔAS, O. V.; DURIGAN, G. (Org.). **Pesquisa em conservação e recuperação ambiental no Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004, v. 1, p. 315-324.

MODNA, D.; DURIGAN, G.; VITAL, M. V. C. *Pinus elliottii* Engelm como facilitadora da regeneração natural da mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 73-83. 2010.

MORAES NETO, S. P.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR JR., J. C.; DUCATTI, F.; AGUIRRE JR., J. H. **Fertilização de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas**. Revista Árvore, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 129-137, 2003.

MORENO, V. S. **Restauração florestal de áreas mineradas de bauxita: é necessário o uso de gramíneas exóticas para o recobrimento inicial do solo ?** 70 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

NERI, A. V.; SOARES, M. P.; MEIRA NETO, J. A. A.; DIAS, L. E. Espécies de Cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração de ouro, Paracatu-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 907-918, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, J. F.; PASSOS, F. B.; AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, F. F.; SOUSA, S. R. Crescimento de espécies nativas em um plantio de recuperação de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 25-32, 2015.

OLIVEIRA-FILHO, A.; RATTER, J. A. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University Press. 2002, p. 91-120.

OTSUBO et al. Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do bolsão Sul-Mato-Grossense. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 535-544, 2015.

PASSOS, F. B.; LOPES, C. M.; AQUINO, F. G.; RIBEIRO, J. F. Nurse plant effect of *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. in area of Brazilian Savanna undergoing a process of restoration. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 251-259, 2014.

PEREIRA, J. A. A.; TONOLI, G. H. D.; CALEGARIO, N. Comportamento de espécies florestais em solos submetidos à calagem no município de Ijaci, Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 13, p. 28-35, 2007.

PERRING, M. P.; STANDISH, R. J.; PRICE, J. N.; CRAIG, M. D.; ERICKSON, T. E.; RUTHROF, K. X.; WHITELEY, A. S.; VALENTINE, L. E.; HOBBS, R. J. Advances in restoration ecology: Rising to the challenges of the coming decades. **Ecosphere**, Washington, v. 6, n. 8, p. 1-25, 2015.

PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 389-399, 2013.

PINTO, J. R.; CORREIA, C. R.; FAGG, C. W.; FELFILI, J. M. Sobrevivência de espécies vegetais nativas do Cerrado, implantadas segundo o modelo MDR Cerrado para a recuperação de áreas degradadas In: **CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL – VIII**, Caxambu, 2007. Anais... p.1-2.

PRADO, B. Q. M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; LAIA, G. A.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 407-413, 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing, 2016. Viena: R Foundation for Statistical Computing.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 49-134.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest: an ecological study**. Cambridge: University Press, 1996, 587p.

RODOLFO JUNIOR, F.; ARAÚJO, L. G.; SOUZA, R. Q.; BATISTA, F. P. S.; OLIVEIRA, D. N. S.; LACERDA, M. P. C. Relações solo-paisagem em topossequências na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 27-35, 2015.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 25 p.

SANTOS, H. G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª edição. Brasília: Embrapa Solos, 2013, 353p.

SANTOS, R. M.; VIEIRA, F. A. Análise estrutural do componente arbóreo de três áreas de Cerrado em diferentes estádios de conservação no município de Três Marias, Minas Gerais, Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 399-408, 2005.

SAMPAIO, J. C.; PINTO, J. R. R. Critérios para avaliação do desempenho de espécies nativas lenhosas em plantios de restauração no Cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 504-506, 2007.

SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. Tree-Grass interactions in savannas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, p. 517-544, 1997.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Indicadores macro e micromorfológicos da qualidade física de um latossolo vermelho textura média cultivado com Cana-de-açúcar na

microrregião de Quirinópolis, Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 233-251, 2014.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo de sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p. 1-18.

SILVA, J. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Autocorrelação espacial em população natural de *Terminalia argentea* Mart et Succ. no cerrado de Selvíria, MS. **Scientia forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 94-99, 2004.

SILVA; L. C. R.; CORRÊA, R. S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 835-841, 2010.

SILVA, M. S. L.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A. C.; KROTH, P. L. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, 2002.

SIMMERS, S. M.; GALATOWITSCH, S. M. Factors affecting revegetation of oil field access roads in semiarid grassland. **Restoration Ecology**, Malden, v. 18, n. 1, p. 27-39. 2010.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. **Soil survey manual**. Washington, Department of Agriculture, 1993. 437p.

SOLIVERES, S.; SMIT, C.; MAESTRE, F. T. Moving forward on facilitation research: response to changing environments and effects on the diversity, functioning and evolution of plant communities. **Biological Reviews**, v. 90, p. 297-313, 2014.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de Impacto Stolf – Programa computacional de dados em Excel-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 774-782, 2014.

STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; GARCIA, G. F.; AMBUS, J. V.; SILVA, T. S.; PINTO, M. A. B.; TUCHTENHAGEN, I. K. Condição física e desenvolvimento radicular de gramíneas em solo construído após mineração de carvão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1078-1087, 2016.

TOSCAN, M. A. G.; TEMPONI, L. G.; LEIMIG, R. A.; FRAGOSO, R. O. Análise da chuva de sementes de uma área reflorestada do corredor de biodiversidade Santa Maria, Paraná. **Ambiência**, Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 217-230, 2014.

VERDU, M.; GARCIA-FAYOS, P. Nucleation processes in a mediterranean bird-dispersed plant. **Functional Ecology**, London, v. 10, n. 2, p. 275-280. 1996.

VENTURIN, N., DUBOC, E.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. Adubação mineral do Angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 34, n.3, p. 441-448, 1999.

VERONESI, M. B.; SIMÕES, K.; SANTOS-JUNIOR, N. A.; BRAGA, M. R. Carbohydrate mobilisation in germinating seed of *Enterolobium contortisiliquum* and *Peltophorum dubium* (Fabaceae), two tropical trees used for restoration. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 62, p. 132-140, 2014.

VIEIRA, I. C. G.; UHL, C.; NEPSTAD, D. The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham. as a “sucession facilitator” in an abandoned pasture, Paragominas, Amazônia. **Vegetatio**, Belgium, v. 115, p. 91-99. 1994.

YELENIK, S. G.; DIMANNO, N.; D’ANTONIO, C. M. Evaluating nurse plants for restoring native woody species to degraded subtropical woodlands. **Ecology and Evolution**, Oxford, v. 5, n. 2, p. 300-313. 2015.

ZAWAHI, R. A.; HOLL, K. D.; COLE, R. J.; REID, J. L. Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, p. 88-96, 2013.

ZANETTE, S. V.; SAMPAIO, S. C.; SILVESTRE, M. G.; BOAS, M. A. V.; URIBE-OPAZO, M. A.; QUEIROZ, M. M. F. Análise espacial da umidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 239-247, 2007.

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. 944p.

CAPÍTULO II - QUALIDADE DO SUBSTRATO DE CASCALHEIRA COMO LIMITANTE AO ESTABELECIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO

1. INTRODUÇÃO

A mineração, em geral, não abrange grandes extensões territoriais, quando comparada com atividades agrícolas e pecuárias (REIS, 2006). Apesar disso, os impactos ambientais negativos gerados pela atividade podem ser considerados como severos (ALDAY et al., 2011), em razão da necessidade frequente de escavações vultosas para a retirada do recurso de interesse, com supressão de vegetação nativa, remoção do solo superficial de melhor fertilidade, impedimento da regeneração natural, redução ou destruição de habitats, afugentamento da fauna e interrupção de corredores de fluxos gênicos (MECHI; SANCHES, 2010).

A exploração de materiais empregados na construção civil, como o cascalho, ocasiona um tipo de degradação que expõe à superfície e às condições climáticas locais mineral de composição variada, denominado genericamente como substrato (CORRÊA; BENTO, 2010). Esses locais onde foram retiradas a cobertura vegetal original e a camada superficial do solo, denominados áreas de empréstimo, tiveram seus meios de regeneração biótica afetados significativamente (PEREIRA et al., 2015; ALVES et al., 2012).

Apesar da possibilidade de ecossistemas se estabelecerem naturalmente até mesmo em sítios muito degradados ou extremos, em alguns casos o processo pode tomar muito tempo (BRADSHAW, 2000). Portanto, quando as condições do solo e/ou substrato da área estão impedindo que a regeneração ocorra naturalmente, a intervenção antrópica é necessária (VENTUROLI et al., 2013). Entre as técnicas utilizadas para reverter os quadros de degradação em superfícies mineradas, a medida mais comum tem sido a implantação de cobertura vegetal, priorizando-se o uso de espécies capazes de estimular processos de sucessão, como as espécies pioneiras (CORRÊA; BENTO, 2010; CORRÊA et al., 2015)

Embora a maioria dos solos do Cerrado apresente baixa fertilidade natural e acidez elevada, e algumas espécies desse Bioma sejam adaptadas a essa condição, há a necessidade de se aprimorarem as técnicas de plantio, principalmente quando se tratam de espécies nativas em áreas mineradas no Cerrado, visto que alguns projetos não têm alcançado os resultados esperados (HARIDASAN, 2000; SILVA; CORRÊA, 2008; CAVA et al., 2016). Entre os fatores que comumente têm afetado o sucesso de projetos de restauração, destacam-se as características do solo (CEACERO et al., 2012), que podem apresentar variabilidade espacial elevada, conforme diversos estudos de dependência espacial vêm mostrando (BOTTEGA et al., 2013; AQUINO et al., 2014; ROSEMARY et al., 2017). Em ambientes degradados, essa variabilidade é marcante e importante na tomada de decisão nos programas de restauração (FONTES, 1991).

Nesse contexto, é pertinente avaliar as condições dos substratos em paralelo à avaliação do desenvolvimento das plantas, visto que informações sobre a qualidade do solo e/ou do substrato tornar-se-iam mais completas e elucidativas sobre a eficácia dos procedimentos de restauração aplicados e sua perspectiva de sustentabilidade no longo prazo (ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2015).

Dessa forma, buscou-se avaliar a situação de uma área explorada pela extração de cascalho que foi submetida a projeto de restauração, propondo avaliar o desenvolvimento das mudas e investigar propriedades físicas e químicas do substrato que podem estar relacionadas à mortalidade das plantas. Para isso, as seguintes questões foram formuladas: (I) Mudanças de espécies nativas do Bioma Cerrado tiveram sucesso em se estabelecer e crescer no substrato minerado? (II) A qualidade física/química do substrato nas covas preparadas para o plantio na cascalheira são adequadas para permitir o desenvolvimento das mudas? (III) Mudanças das duas espécies mais abundantes na cascalheira suportam limitações físicas/químicas em suas covas semelhantes às que ocorrem em covas onde houve morte de mudas nativas implantadas? (IV) Limitações na qualidade do substrato são mais pronunciadas na estação seca ou chuvosa?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo consiste de uma área de empréstimo de cascalho, localizada no município de Paracatu (MG), nas coordenadas 17°13'10.78"S, 46°41'29.79"O. A vegetação nativa nas adjacências ao local pode ser caracterizada como Cerrado *sensu stricto*, assentada sob Latossolo (Figura 7).

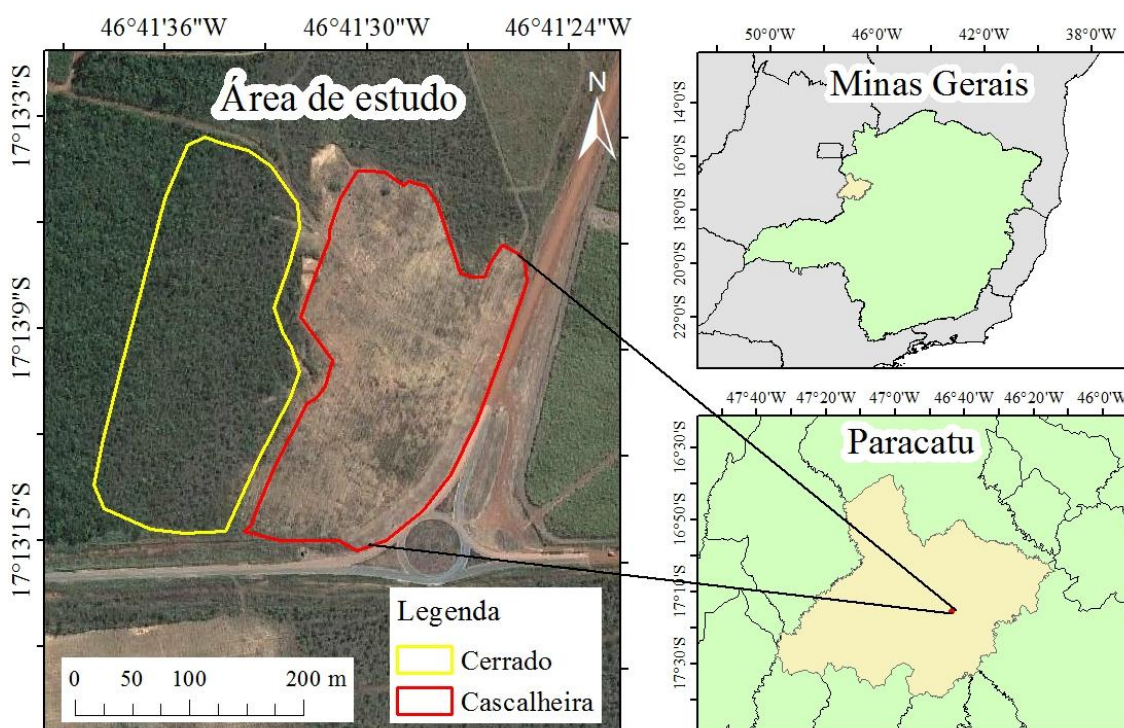


Figura 7. Mapa de localização da cascalheira e do remanescente de Cerrado estudado.

O plantio de espécies nativas do Bioma Cerrado foi realizado em fevereiro de 2009, com preparo localizado somente nas linhas de plantio (subsolagem, revolvendo o substrato¹ até 60 cm de profundidade na linha do subsolador). As covas foram abertas com o uso de enxadões na linha do subsolador. Em cada cova foi feita adubação orgânica com esterco de gado (2 kg cova⁻¹) e 100 g de NPK (4-30-16). O espaçamento utilizado foi 3 x 3 m, ocupando área de 4,46 ha.

¹ O termo “substrato” foi utilizado pois, do ponto de vista pedológico, os horizontes A e B foram retirados na área da cascalheira, restando o material saprolítico, ou seja, de rocha fragmentária em diferentes estágios de decomposição física e de transformação química do horizonte C do perfil do solo.

O clima da região, segundo o sistema de classificação de Köppen, é megatérmico (Aw), com inverno seco (ALVARES et al., 2014). Os períodos climáticos são bem definidos: a estação chuvosa se concentra no período de outubro a março, e a seca no período de abril a setembro, com precipitação média anual de 1.314 mm. A temperatura média anual é de 23 °C, a média do mês mais frio de 16,5 °C e a do mês mais quente chega a 29,5°C (INMET, 2017).

2.2. Coleta de dados

Em setembro de 2015 realizou-se amostragem sistemática das mudas plantadas na área em processo de restauração, com a finalidade de se conhecer quais espécies estavam presentes em maior abundância e suas características dendrométricas. Para isso, primeiramente foi selecionada por meio de sorteio uma das 51 linhas do plantio e em seguida selecionadas as demais, obedecendo a um intervalo de quatro linhas entre as amostragens. Dessa forma amostraram-se 11 linhas de plantio onde foram contabilizados o número de indivíduos de espécies plantadas (N), altura total (HT) (medida com vara graduada) e diâmetro à altura do coleto (DAC) (medido com paquímetro digital).

A amostragem descrita anteriormente norteou a avaliação da mortalidade das mudas plantadas e das duas espécies mais abundantes, efetuada em março de 2016. Para essa avaliação, as duas espécies que apresentaram maior número de indivíduos na amostragem tiveram todos os seus indivíduos contabilizados numa varredura contemplando todas as linhas de plantio. As plantas de outras espécies também foram contabilizadas, mas somente para fins de obtenção da taxa de mortalidade geral do plantio. Foram consideradas plantas mortas aquelas que, no local determinado da cova de plantio, apresentaram o caule seco e desprovido de folhas (BRANCALION et al., 2015). A taxa de mortalidade foi obtida mediante a equação 1:

$$Mortalidade = \left(1 - \frac{n}{N}\right) * 100 \quad (1)$$

Onde: n = número de indivíduos vivos; N = número de indivíduos plantados.

Para caracterizar a textura do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado, foi realizada análise granulométrica de quatro amostras compostas, formadas cada uma por 20 amostras deformadas simples, retiradas em cada um desses locais, com auxílio de trado holandês, na camada de 0-20 cm.

O estudo da qualidade do substrato nas covas na cascalheira e do solo sob Cerrado nativo adjacente à cascalheira, foi realizado por meio da abertura de trincheiras (de dimensões 40 x 40 x 40 cm) onde se coletaram amostras do substrato/solo na camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-40 cm). As trincheiras foram dispostas em quatro tipos de pontos de coleta:

TC: Trincheiras dispostas ao acaso em área remanescente de cerrado *sensu stricto*, nas adjacências da cascalheira;

TM: Trincheiras em covas de plantas mortas selecionadas ao acaso nas linhas de plantio;

TT: Trincheiras nas covas das mudas de indivíduos vivos da espécie que apresentou a maior abundância na amostragem das mudas plantadas, selecionadas ao acaso nas linhas onde ocorriam. Foram abertas trincheiras rente ao coleto das plantas e efetuadas coletas do substrato na “parede” rente ao sistema radicular, para procurar identificar possíveis limitações físico-químicas (Figura 8);

TE: Trincheiras nas covas das mudas de indivíduos vivos da espécie que apresentou a segunda maior abundância na amostragem das mudas plantadas, selecionadas ao acaso nas linhas onde ocorriam, adotando o mesmo procedimento efetuado em TT;

Foram coletadas amostras em sete trincheiras em cada um dos tipos de ponto acima descritos. Tendo em vista que a estação seca abrange os meses de maio a setembro e que a estação chuvosa de outubro a março, os procedimentos foram realizados no fim da estação seca (setembro de 2015) e repetidos no fim da estação chuvosa (março de 2016), permitindo verificar se em alguma das estações do ano existe maior limitação na qualidade química/física do substrato.

A qualidade química do substrato da cascalheira e do solo sob Cerrado foi avaliada por meio do grau de acidez, que englobou as variáveis pH (H₂O), Alumínio trocável (Al³⁺), acidez potencial (H+Al) e saturação por alumínio (m); do estado de fertilidade, que englobou as variáveis teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio e magnésio (Ca+Mg), Capacidade de troca de cátions efetiva - CTC efetiva (t), CTC a pH 7 (T), soma de bases (SB) e saturação por bases (V); e teores de matéria orgânica (MO). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UnB), seguindo o protocolo descrito em EMBRAPA (2011).



Figura 8. Procedimento de coleta de amostras do substrato nas covas das mudas das espécies de maior abundância no substrato de cascalheira, Paracatu, MG.

A qualidade física foi avaliada por meio da umidade volumétrica (θ), densidade (D_s) e porosidade total (PT). Para a determinação dessas variáveis, amostras indeformadas foram coletadas com anel volumétrico de volume conhecido ($9,25 \text{ cm}^3$), transferidas para latas de alumínio e pesadas, ainda em campo, para a obtenção da massa úmida (m_u). Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), onde foram secas em estufa de circulação forçada, em temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 horas, obtendo-se a massa seca (m_s). Com essas informações, determinou-se a θ e PT por meio do uso das seguintes equações:

$$\theta = \frac{(m_u - m_s)}{V_{anel}} \quad (2)$$

Onde: θ = umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); m_u = massa úmida (g); m_s = massa seca (g), V_{anel} = volume do anel utilizado na coleta da amostra indeformada (cm^3)

$$D_s = \frac{m_s}{V_{anel}} \quad (3)$$

Onde: D_s = densidade (g cm^{-3}); V_{anel} = volume do anel utilizado na coleta da amostra indeformada (cm^3)

$$PT = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \quad (4)$$

Onde: PT = porosidade total estimada ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); D_s = densidade do solo (Mg m^{-3}); D_p = densidade de partículas (Mg m^{-3}), aplicando-se para dp o valor de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, valor usual empregado na literatura para solos minerais (REICHARDT; TIMM, 2004; CORRÊA; BENTO, 2010; ALMEIDA; SANCHEZ, 2015).

2.3. Análise de dados

Inicialmente, os dados foram explorados por meio de *Principal Component Analysis* (PCA) para visualizar relações entre a qualidade física/química e os quatro tipos de pontos de coleta. A seleção do número de componentes empregados na interpretação de dados de uma PCA é um critério empírico na literatura, e é comum indicarem que se devem utilizar aqueles componentes que juntos acumulam pelo menos 70% da variação total dos dados, informação dada pelos autovalores de cada componente (GUEDES et al., 2012; HONGYU et al., 2015; PRADO et al., 2016).

Dentre as variáveis químicas avaliadas, foram selecionadas aquelas que apresentam maior relevância na discriminação dos fatores avaliados. Assim, as variáveis de pouca relevância foram descartadas com base no que é sugerido no trabalho de Cruz e Regazzi (1994), cujo princípio é que os últimos componentes são responsáveis pela explicação de uma fração mínima da variância total disponível, e dessa forma, a variável que apresenta maior coeficiente de ponderação nos componentes de menor autovalor são consideradas de menor importância para explicar a variabilidade dos fatores avaliados, sendo possíveis de descarte.

Posteriormente, realizaram-se comparações das características físicas e químicas nos diferentes pontos de coleta, por meio de testes de significância. Para isso, primeiramente se verificou se os dados atendiam à normalidade de distribuição dos erros e homogeneidade das variâncias, checadas com o auxílio do teste Jarque-Bera com 10.000 permutações e teste Levene, respectivamente. Para os dados que atenderam à normalidade e homogeneidade de variâncias, diferenças entre os níveis dos fatores analisados foram verificadas por meio de análise de variância e teste Tukey.

Quando os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, diferenças estatisticamente significativas entre os níveis dos fatores analisados foram verificadas por meio de estatísticas não paramétricas que comparam medianas (Kruskal-Wallis e Mann-Whitney).

Utilizou-se o software Past v. 2.17c (HAMMER et al., 2001), adotando como nível de significância para os testes estatísticos $\alpha \leq 0,05$.

3. RESULTADOS

3.1. Crescimento e sobrevivência das mudas plantadas

As 10 espécies mais abundantes no plantio de restauração apresentaram médias de diâmetro à altura de 30 cm do solo (DAS) que variaram de 0,77 cm (*Dipteryx alata*) a 5,01 cm (*Plathymenia reticulata*), e médias de altura total (HT) que variaram de 0,4 m (*Eugenia dysenterica*) a 1,8 m (*Cecropia pachystachya*). *Tapirira guianensis* (n = 63) e *C. pachystachya* (n = 27) foram as que apresentaram maior número de indivíduos na amostragem e também os maiores valores médios para HT (Tabela 4).

Dentre essas espécies mais abundantes, sete são caracterizadas como típicas de fisionomias florestais, e três como de ocorrência preferencial em fisionomias savânicas (*D. alata*, *Eugenia dysenterica* e *H. speciosa*).

A taxa de mortalidade geral das mudas plantadas na cascalheira foi de 62,5% no sexto ano pós-plantio. Dados referentes ao monitoramento realizado no ano de 2012, obtidos junto ao Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD/UnB), indicaram que a mortalidade dessas plantas no terceiro ano pós-plantio foi de 22,84%, evidenciando mudanças significativas nessa variável ao longo do tempo. As taxas de mortalidade das duas espécies mais abundantes na amostragem – *T. guianensis* e *C. pachystachya* – foram de 28,4% e 29,2%, respectivamente.

Tabela 4. Características dendrométricas das dez espécies mais abundantes registradas na cascalheira em processo de restauração, seis anos pós-plantio, Paracatu, MG.

Espécie	Família	N	DAC (cm)	HT (m)	FITO
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Urticaceae	27	3,43 ± 0,44	1,8 ± 0,7	F
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	63	2,76 ± 0,28	1,7 ± 0,4	F
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae	10	5,01 ± 2,82	1,4 ± 1,1	F
<i>Hancornia speciosa</i> Gómez	Apocinaceae	9	3,64 ± 0,55	1,2 ± 0,9	S
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae	25	4,01 ± 1,59	1,2 ± 0,5	F
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Fabaceae	15	2,14 ± 0,38	1,0 ± 0,6	F
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Fabaceae	22	2,00 ± 0,39	1,0 ± 0,4	S
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.	Rubiaceae	10	0,96 ± 0,67	0,7 ± 0,5	F
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Sapotaceae	12	2,32 ± 0,67	0,7 ± 0,5	F
<i>Eugenia dysenterica</i> Mart. Ex DC.	Myrtaceae	17	0,77 ± 0,41	0,4 ± 0,2	S
Média geral			1,14 ± 0,25	1,27 ± 0,09	-

N = número de indivíduos; DAC = Diâmetro à altura do coleto; HT = Altura total. FITO = Fitofisionomia de ocorrência preferencial.

3.2. Qualidade física do substrato minerado e do solo sob Cerrado

A caracterização textural das amostras compostas provenientes do solo sob Cerrado nativo e do substrato da cascalheira indicou que estes podem ser classificados como argilosos, com teores de argila maiores que 48% (Tabela 5).

Tabela 5. Textura do substrato da cascalheira e de solo sob Cerrado na adjacência da cascalheira, Paracatu, MG.

Ambiente	Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila
		----- % -----		
Substrato nas covas da Cascalheira	0-20	32,5	20	47,5
	20-40	25	25	50
Solo sob Cerrado	0-20	20	20	60
	20-40	25	17,5	57,5

Foram avaliadas a qualidade física e química do substrato das covas de duas florestais: *Tapirira guianensis* (TT) e *Cecropia pachystachya* (TE), tendo em vista a maior abundância na amostragem da área de estudo (63 e 27 indivíduos, respectivamente) e o crescimento em altura (HT) dessas espécies (1,7 e 1,8 m, respectivamente), e também o substrato das covas de mudas que não sobreviveram (TM) e amostras das coletas realizadas no solo sob Cerrado (TC), adjacente à área da cascalheira, para fins de comparação.

O primeiro e o segundo componente principal contendo as variáveis físicas – Densidade (Ds), Umidade volumétrica na estação seca (θ_{seca}), Umidade volumétrica na estação chuvosa (θ_{chuva}) – apresentaram autovalores de 2,04 e 1,11, respectivamente, explicando ao todo 79,00% da variação total. A Ds se correlacionou com o primeiro componente principal (correlação de 0,98), ao passo que o segundo componente principal se correlacionou com θ_{seca} (0,76) e θ_{chuva} (0,69). A porosidade total (PT) não foi utilizada nessa PCA devido à dependência dessa variável com a Ds (calculada com base nos valores de Ds).

O diagrama formado por esses dois primeiros componentes principais mostrou agrupamento das amostras de solo retiradas no Cerrado (TC) no lado esquerdo, indicando menores valores de Ds; enquanto no lado direito concentraram-se as amostras retiradas nos três tipos de pontos de coleta da cascalheira (TM, TT e TE), sem uma

separação nítida entre elas. A maior parte das amostras retiradas na camada superficial (0-20 cm) da cascalheira concentrou-se na parte inferior do diagrama, ao passo que amostras retiradas na camada subsuperficial (20-40 cm) concentraram-se na parte superior do diagrama, mais próximas às setas que indicam as umidades (Figura 9).

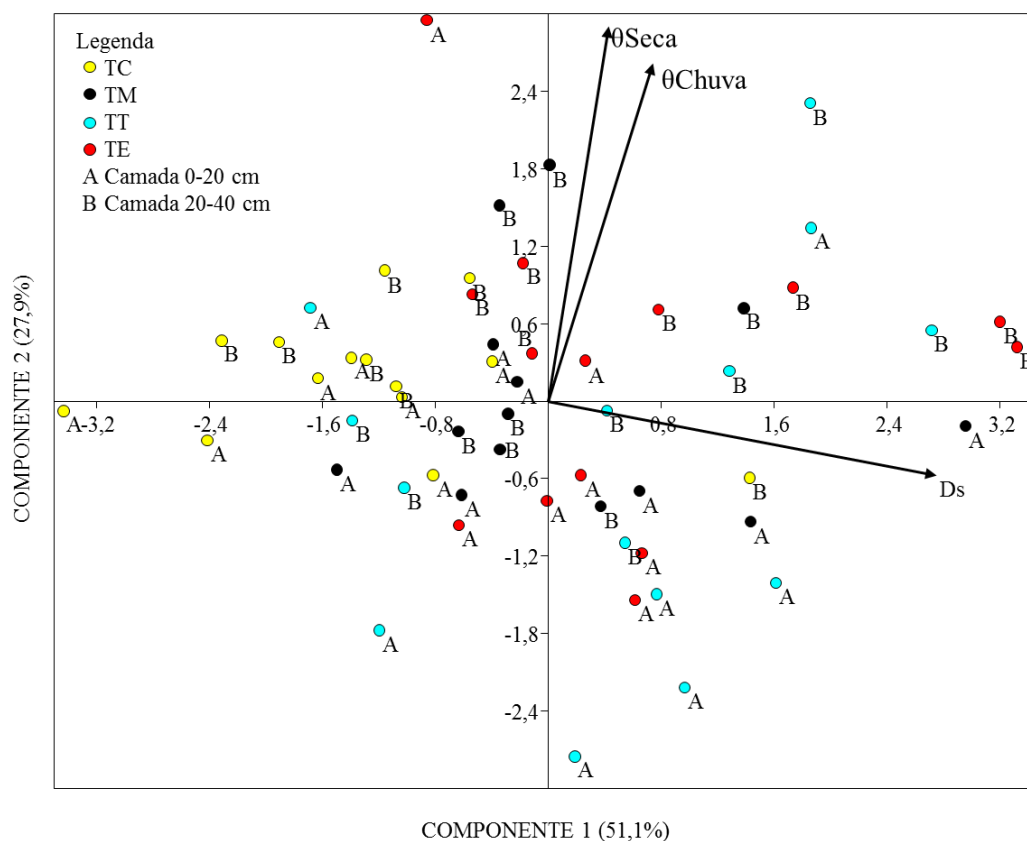


Figura 9. Diagrama da *Principal Component Analysis* (PCA) das variáveis físicas do substrato da Cascalheira e do solo sob Cerrado, Paracatu, MG. Ds = densidade; θ_{seca} = umidade volumétrica na estação seca; θ_{chuva} = umidade volumétrica na estação chuvosa. TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras de substrato retiradas nas covas onde mudas não sobreviveram; TT = Amostras de substrato retiradas nas covas de *T. guianensis*; TE = Amostras de substrato retiradas nas covas de *C. pachystachya*.

Os valores observados para as médias de Ds, na camada de 0-20 cm, variaram entre 0,93 (TC) e 1,19 g cm⁻³ (TT), enquanto que na camada de 20-40 cm variaram entre 1,00 (TC) e 1,24 g cm⁻³ (TE). Os testes de médias mostraram que na camada superficial a média observada no solo sob Cerrado (TC) foi significativamente menor do que as observadas nas covas onde mudas não sobreviveram (TM) e nas covas de *Tapirira guianensis* (TT), não se diferenciando da observada nas covas de *Cecropya pachystachya* (TE) ($F = 4,53$; $p = 0,01$).

Por outro lado, na camada subsuperficial, a média observada para a densidade em TC não se diferenciou significativamente das observadas em TM e TT, diferindo apenas da observada em TE ($F = 3,32$; $p = 0,03$). Quando se compararam os valores de densidade nas camadas, não houve diferenças significativas entre camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-40 cm) em nenhum dos quatro tipos de pontos avaliados. A porosidade total apresentou o mesmo comportamento que a densidade (Tabela 6).

Quanto à umidade volumétrica (θ), não ocorreram diferenças estatisticamente significativas quando comparamos os quatro tipos de pontos de coleta em ambas as camadas. Por outro lado, quando se compararam as umidades entre as camadas, houve diferenças estatisticamente significativas em TT e TE, onde maiores valores ocorrem na camada subsuperficial (20-40 cm) desses tipos de pontos de coleta durante a estação chuvosa (respectivamente $F = 11,25$; $p = 0,00$ e $F = 25,95$; $p = 0,00$).

Também houve diferenças significativas para essa variável quando se compararam as estações, sendo que na camada superficial os testes pareados indicaram valores de θ superiores na coleta da estação chuvosa (outubro à março) para TC ($t = -2,50$; $p = 0,04$) e TM ($t = -9,36$; $p = 0,00$), ao passo que na camada subsuperficial os valores de θ foram maiores na estação chuvosa para todos os pontos ($t = -2,72$; $p = 0,03$; $t = -5,59$; $p = 0,00$; $t = -3,34$; $p = 0,01$; $t = -7,22$; $p = 0,00$) (Tabela 6).

Tabela 6. Características físicas do solo sob Cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira, em duas profundidades, Paracatu, MG.

Propriedades		TC	TM	TT	TE	TC	TM	TT	TE
		0-20 cm				20-40 cm			
Densidade	g cm^{-3}	0,93 ^a	1,17 ^b	1,19 ^b	1,14 ^{ab}	1,00 ^a	1,11 ^{ab}	1,2 ^{ab}	1,24 ^b
Porosidade total	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	0,65 ^a	0,56 ^b	0,55 ^b	0,57 ^{ab}	0,62 ^a	0,58 ^{ab}	0,55 ^{ab}	0,53 ^b
θ (estação seca)	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	0,11 ^{aB}	0,1 ^{aB}	0,09 ^{aA}	0,12 ^{aA}	0,12 ^{aB}	0,11 ^{aB}	0,12 ^{aB}	0,13 ^{aB}
θ (estação chuvosa)		0,14 ^{aA}	0,17 ^{aA}	0,14 ^{aA*}	0,13 ^{aA*}	0,16 ^{aA}	0,19 ^{aA}	0,17 ^{aA*}	0,2 ^{aA*}

TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras de substrato retiradas nas covas onde mudas não sobreviveram; TT = Amostras de substrato retiradas nas covas de *T. guianensis*; TE = Amostras de substrato retiradas nas covas de *C. pachystachya*. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas são significativamente diferentes pelo teste Tukey, comparando os pontos de coleta; Médias de umidade seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas são significativamente diferentes pelo teste t pareado; Médias de umidade seguidas de asterisco nas linhas são significativamente diferentes pelo teste Tukey, comparando as camadas (0-20 x 20-40 cm);

Logo, os resultados dos testes de médias das variáveis físicas corroboram com o padrão evidenciado pela PCA, em que o solo sob Cerrado nativo (TC) tende a apresentar valores de densidade ligeiramente menores que os observados no substrato da cascalheira (TM, TT e TE), e que, na cascalheira, as camadas subsuperficiais (20-40

cm) tendem a armazenar maiores volumes de água do que as camadas superficiais (notadamente na estação chuvosa).

3.3. Qualidade química do substrato minerado e do solo sob Cerrado

Os resultados das análises das características químicas estudadas indicam que, de acordo com interpretação proposta por Sousa e Lobato (2004), em geral o solo sob Cerrado nativo (TC) e o substrato das covas na cascalheira (TM, TT e TE) podem ser descritos como ácidos ($\text{pH} < 5,1$) e distróficos ($V < 50\%$), com teores de alumínio trocável (Al^{3+}) muito altos, com saturações por Al^{3+} (m) sempre maiores que 75%. A CTC Total (T) variou de adequada/alta em TC e baixa em TM, TT e TE (Tabela 7).

Tabela 7. Características químicas do solo sob Cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira em duas profundidades e em duas estações, Paracatu, MG.

Local de coleta	pH (H ₂ O)	P -- mg dm ⁻³ --	K	H+Al	Al ³⁺	Ca+Mg	SB	t	T	MO dag kg ⁻¹	V --- % ---	M
Estação seca												
Camada de 0–20 cm												
TC	4,2	1,7	120,9	15,7	3,8	0,2	0,5	4,4	16,2	2,8	3,4	86,7
TM	4,8	1,8	67,7	5,5	3,1	0,3	0,5	3,6	6,2	0,8	8,3	86,4
TT	4,5	9,7	109,8	4,6	3,1	0,7	0,9	4,3	5,2	2,1	20,5	75,2
TE	4,5	3,8	70,5	3,5	3,3	0,7	0,8	4,1	4,4	1,7	22,1	77,1
Camada de 20–40 cm												
TC	4,4	1,5	76,3	12,0	3,0	0,1	0,4	3,4	12,3	2,0	3,5	88,7
TM	4,8	1,3	36,4	5,3	3,1	0,4	0,5	3,8	5,8	0,6	8,1	84,1
TT	4,6	2,3	68,1	7,7	3,6	0,4	0,7	3,9	7,9	0,7	6,1	84,6
TE	4,8	1,9	36,4	6,3	3,7	0,3	0,4	4,3	7,5	0,6	6,1	89,3
Estação chuvosa												
Camada de 0–20 cm												
TC	3,7	4,9	110,4	17,1	6,0	0,1	0,4	6,4	17,5	2,3	3,8	93,1
TM	4,0	2,5	71,6	6,4	3,5	0,2	0,4	3,8	6,9	0,7	7,3	88,6
TT	3,9	10,3	108,6	6,9	3,3	0,3	0,6	4,1	7,4	1,8	11,7	81,4
TE	3,9	4,8	71,4	7,6	3,9	0,3	0,6	4,6	8,1	1,5	9,0	87,8
Camada de 20–40 cm												
TC	3,9	2,9	83,0	11,9	4,4	0,1	0,3	4,7	12,2	1,8	4,2	93,2
TM	4,0	1,6	57,1	5,9	3,5	0,2	0,3	3,8	6,1	0,4	6,3	92,8
TT	4,2	2,3	65,6	6,2	3,1	0,2	0,3	3,4	6,5	0,5	7,9	91,5
TE	4,1	2,0	57,1	6,2	3,5	0,1	0,3	3,7	6,4	0,4	6,8	91,6

TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras de substrato retiradas nas covas onde mudas não sobreviveram; TT = Amostras de substrato retiradas nas covas de *T. guianensis*; TE = Amostras de substrato retiradas nas covas de *C. pachystachya*.

Os três primeiros componentes principais da PCA contendo as variáveis químicas do substrato explicaram 79,52% da variação total (Tabela 8). As variáveis que mais se correlacionaram com o primeiro componente e seus respectivos valores de

correlação foram: Matéria orgânica (MO) (0,79); Potássio (K) (0,74); Fósforo (P) (0,63). As variáveis que mais se correlacionaram com o segundo componente principal e seus respectivos valores de correlação foram: Teor de cálcio e magnésio (Ca+Mg) (0,81); Alumínio trocável (Al^{3+}) (-0,65) e Acidez potencial (H+Al) (-0,53). Quanto ao terceiro componente, as variáveis que mais se correlacionaram foram: Acidez potencial (H+Al) (0,49), P (-0,46) e acidez ativa (pH) (0,40).

Tabela 8. Autovalores dos componentes formados na PCA, porcentagens de variância explicadas e acumuladas.

Componente	Autovalor	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	2,76	39,44	39,44
2	2,00	28,64	68,08
3	0,80	11,44	79,52
4	0,52	7,38	86,90
5	0,41	5,89	92,79
6	0,27	3,87	96,66
7	0,23	3,33	100

O diagrama formado pelos dois primeiros componentes principais da PCA (Figura 10) mostrou a tendência de que amostras retiradas na camada superficial (0-20 cm) de TT concentraram-se no primeiro quadrante, associadas às setas que indicam P, K e MO; no quarto quadrante agruparam-se amostras retiradas em TC, tanto na profundidade superficial quanto na subsuperficial (20-40 cm), associadas às setas que indicam Al^{3+} e H+Al. Esse diagrama também permitiu visualizar correlações entre as variáveis químicas: as setas que indicam P e K estiveram próximas à seta MO, e esta aparenta correlação negativa com pH.

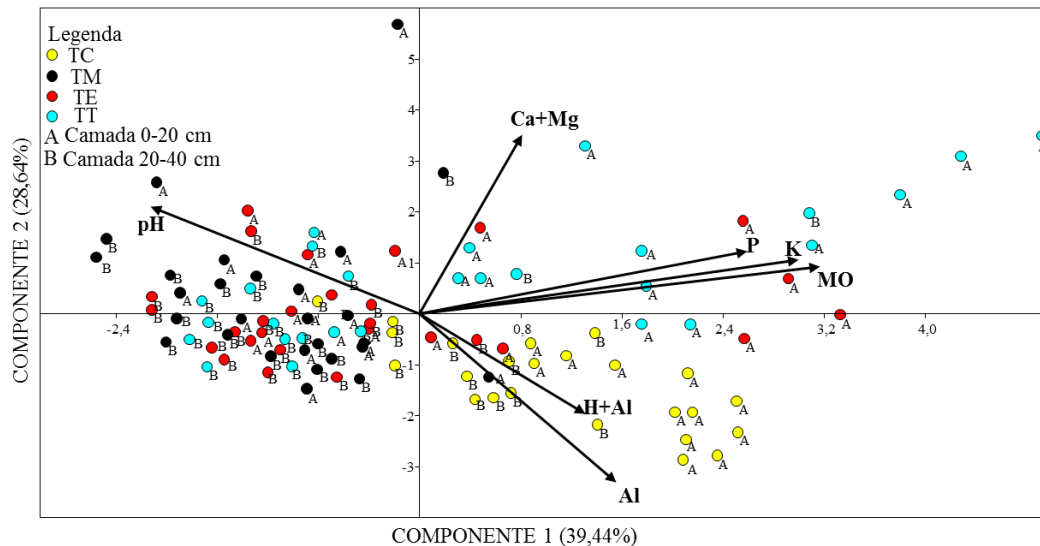


Figura 10. Diagrama contendo os dois primeiros componentes principais da PCA das variáveis químicas do substrato da Cascalheira e do solo sob Cerrado, Paracatu, MG. TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras retiradas no substrato das covas onde mudas não sobreviveram; TE = Amostras retiradas no substrato das covas de *C. pachystachya*; TT = Amostras retiradas no substrato das covas de *T. guianensis*.

O diagrama formado pelo primeiro e terceiro componente principal também mostrou a formação de grupos, separando as estações de coleta – com a maioria das amostras coletadas na estação seca agrupando-se na parte superior, e a maioria das amostras coletadas na estação chuvosa agrupando-se na parte inferior. As amostras retiradas na estação seca tenderam a se aproximarem das setas de pH. Também é possível perceber o agrupamento de amostras retiradas no remanescente de Cerrado nativo (TC), próximas às setas de MO, K e H+Al e Al (Figura 11).

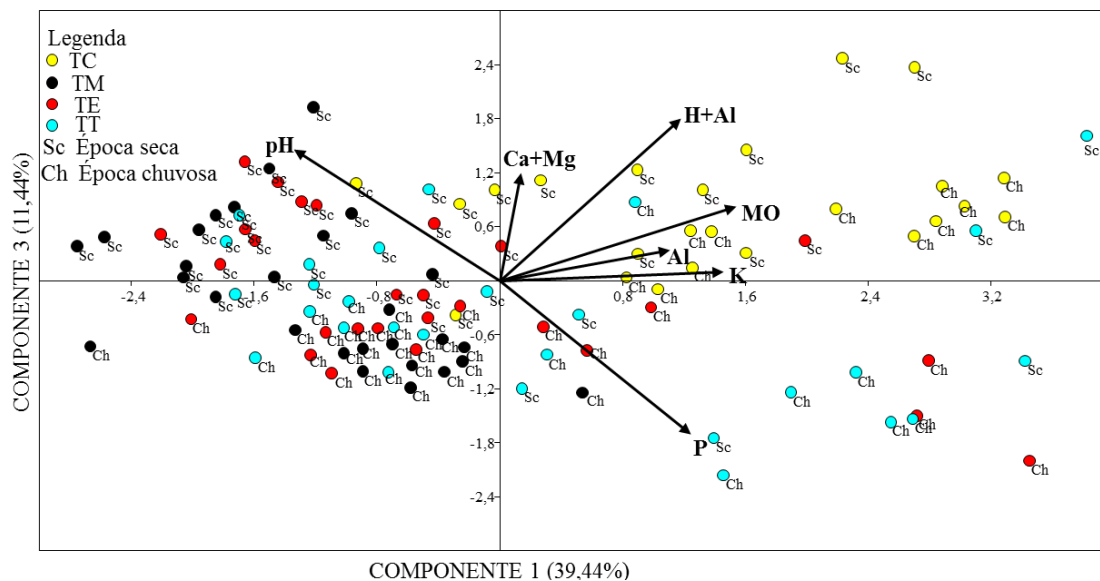


Figura 11. Diagrama contendo o primeiro e o terceiro componente principal da PCA das variáveis químicas do substrato da Cascalheira e do solo sob Cerrado, Paracatu, MG. TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras retiradas no substrato das covas onde mudas não sobreviveram; TE = Amostras retiradas no substrato das covas de *C. pachystachya*; TT = Amostras retiradas no substrato das covas de *T. guianensis*.

Logo, o resultado da PCA contendo as variáveis químicas evidenciou uma separação das amostras retiradas no remanescente de Cerrado nativo (TC), que se distinguiram das amostras retiradas na cascalheira (TM, TT e TE) principalmente por terem apresentado maior acidez. Os teores de MO, em geral, foram maiores no solo sob Cerrado, no entanto, os pontos retirados nas covas de *T. guianensis* (TT) apresentaram comportamento próximo, associadas a teores mais altos de MO em relação à TM e TE.

Os testes de mediana confirmaram os padrões mostrados nos diagramas para as variáveis relacionadas à acidez, constatando diferenças significativas na comparação do solo sob Cerrado nativo (TC) com o substrato das covas na cascalheira (TM, TT e TE), sendo que para Al^{3+} e H+Al os três pontos de coleta na cascalheira não se diferenciaram entre si, em ambas as camadas (Figura 12). Com relação à acidez ativa (pH), somente na estação seca, camada de 0-20 cm, ocorreram diferenças significativas na cascalheira ($H = 17,77$, $p < 0,01$), onde TM apresentou maior pH. Em todos os pontos de coleta e nas duas camadas foram encontradas menores valores de acidez ativa na estação chuvosa (com valores de $W \geq 21$ e $p < 0,05$ em todas as comparações pareadas), confirmando o padrão evidenciado no diagrama da PCA.

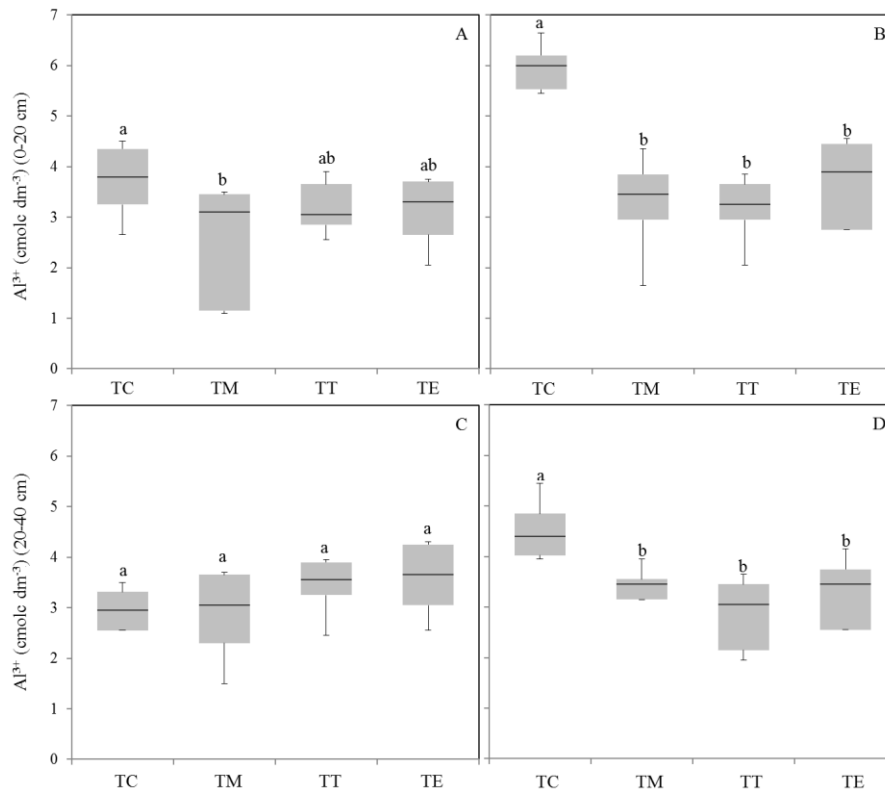


Figura 12. Medianas para os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) no solo sob Cerrado (TC) e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira (TM, TT e TE), no município de Paracatu, MG (A) camada superficial, estação seca; (B) camada superficial, estação chuvosa; (C) camada subsuperficial, estação seca; (D) camada subsuperficial, estação chuvosa. TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras retiradas no substrato das covas onde mudas não sobreviveram; TE = Amostras retiradas no substrato das covas de *C. pachystachya*; TT = Amostras retiradas no substrato das covas de *T. guianensis*.

Em todos os pontos de coleta, os teores de Ca+Mg foram baixos (menores que $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SOUSA; LOBATO, 2004), desse modo, comparações de medianas em relação aos teores desses nutrientes nos diferentes pontos de coleta não seriam elucidativas de diferenças práticas.

Com relação ao K, foi possível notar que houve tendência de ocorrerem maiores teores desse nutriente no solo sob Cerrado nativo (TC), em relação aos demais pontos de coleta, principalmente na camada de 20-40 cm (estação seca: $H = 10,24$, $p = 0,01$; estação chuvosa: $H = 9,3$, $p = 0,02$). Nos pontos de coleta, a maioria das medianas foram maiores que 50 mg dm^{-3} , teores interpretados como bons quando a CTC (T) $> 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, de acordo com Sousa e Lobato (2004). Somente ocorreram teores medianos menores que esse patamar na camada de 20-40 cm durante a estação seca, em TM e TE. Nessa estação, a comparação entre camadas mostrou que em TT e TE ocorrem maiores

teores de K na camada superficial ($H = 4,29$, $p = 0,03$ e $H = 5,89$, $p = 0,01$) (Figura 13). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na comparação seca x chuva.

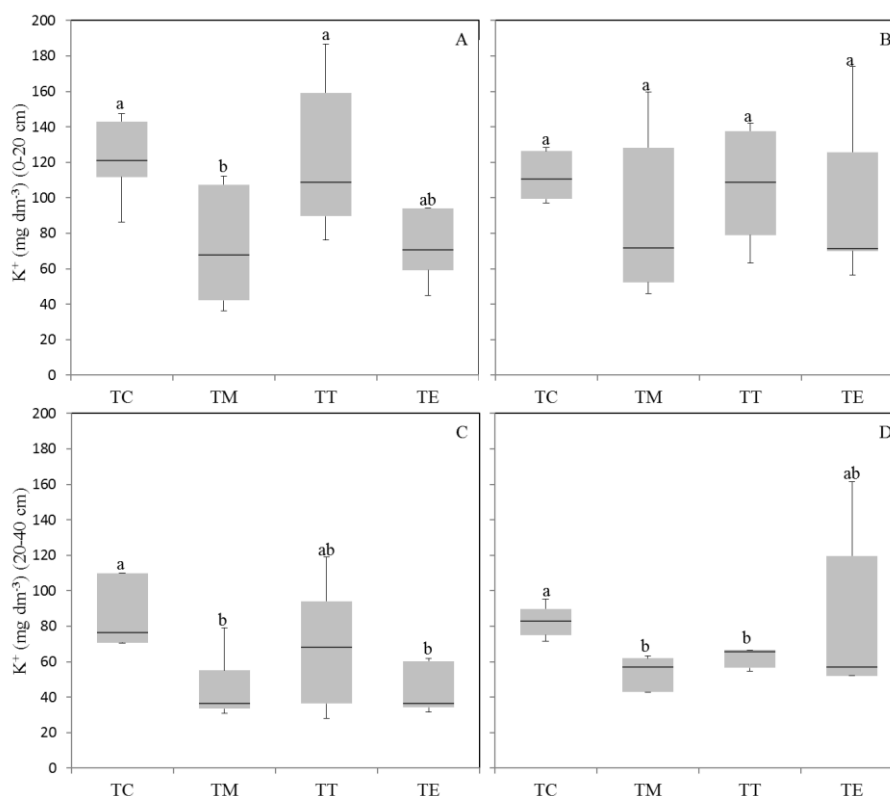


Figura 13. Medianas para os teores de Potássio (K) no solo sob Cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira, no município de Paracatu, MG (A) Camada superficial, estação seca; (B) Camada superficial, estação chuvosa; (C) Camada subsuperficial, estação seca; (D) Camada subsuperficial, estação chuvosa. TC = Amostras retiradas no solo sob cerrado; TM = Amostras retiradas no substrato das covas onde mudas não sobreviveram; TE = Amostras retiradas no substrato das covas de *C. pachystachya*; TT = Amostras retiradas no substrato das covas de *T. guianensis*.

Durante a estação seca, as medianas de P nas camadas superficiais (0-20 cm) dos pontos de coleta foram maiores em TT do que nos demais ($H = 12,61$; $p = 0,00$), enquanto que durante a estação chuvosa somente TM se diferenciou das demais, com menor mediana ($H = 13,41$; $p = 0,00$). Em termos práticos, somente em TT foram observados teores adequados ($P > 10,1 \text{ mg dm}^{-3}$) (SOUSA; LOBATO, 2004). Na camada subsuperficial, durante a seca, os teores em TT foram significativamente inferiores aos observados na camada superficial ($H = 6,2$; $p = 0,01$), ao passo que na

estação chuvosa TT e TE apresentaram diferenças entre camada superficial e subsuperficial ($H = 6,86; p = 0,08$ e $H = 5,0; p = 0,02$), onde as medianas foram sempre inferiores a $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (valores que podem ser classificados como muito baixos, de acordo com Sousa e Lobato, 2004) (Figura 14). Em se tratando das comparações entre as estações, somente no solo sob Cerrado (TC) foram observadas diferenças significativas, que teve maiores teores de P na estação chuvosa, tanto na camada superficial quanto na subsuperficial ($W = 21, p < 0,05$).

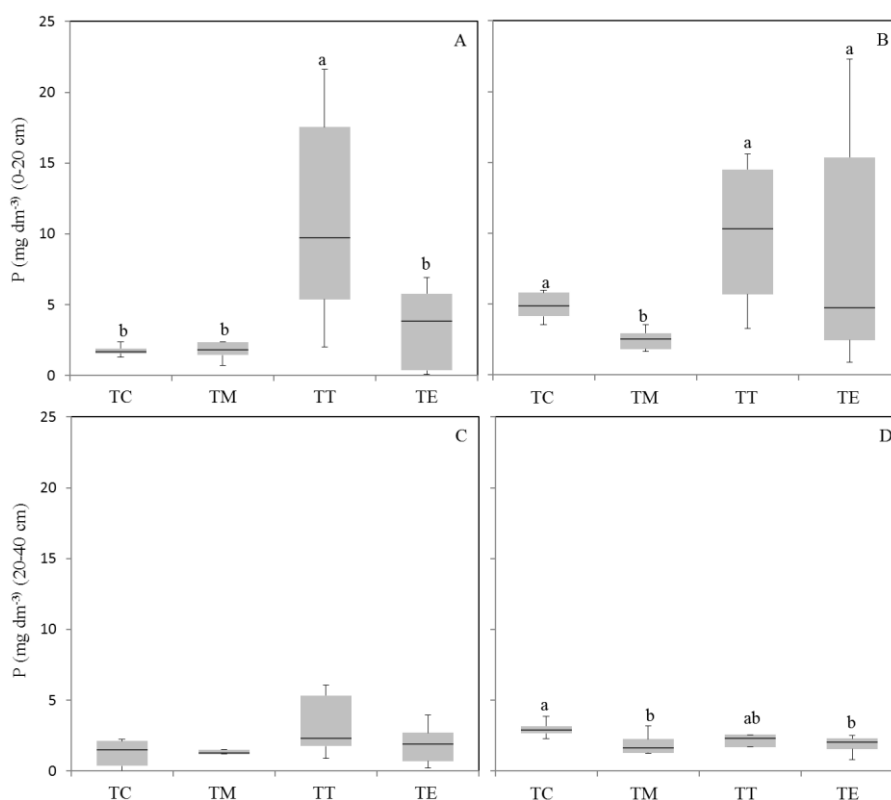


Figura 14. Medianas para os teores de Fósforo (P) no solo sob Cerrado e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira, no município de Paracatu, MG (A) Camada superficial, estação seca; (B) Camada superficial, estação chuvosa; (C) Camada subsuperficial, estação seca; (D) Camada subsuperficial, estação chuvosa; TM = Amostras retiradas no substrato das covas onde mudas não sobreviveram; TE = Amostras retiradas no substrato das covas de *C. pachystachya*; TT = Amostras retiradas no substrato das covas de *T. guianensis*.

Na camada superficial, os teores de MO nas covas da cascalheira puderam ser classificados como baixos ($MO < 2,4 \text{ mg dm}^{-3}$) (SOUSA; LOBATO, 2004), com as covas de TM tendendo a apresentar os menores teores tanto na seca ($H = 13,56; p = 0,00$), quanto na chuva ($H = 13,68; p = 0,00$) e as covas de TT tendendo a apresentar teores próximos aos de TC. Em geral, os teores de MO foram inferiores na camada de

20-40, até mesmo em TC, interpretados como baixos. Em se tratando da comparação entre as estações, somente em TM, camada superficial, foram observadas diferenças significativas, com maior quantidade de matéria orgânica na seca (W = 27; $p = 0,03$) (Figura 15).

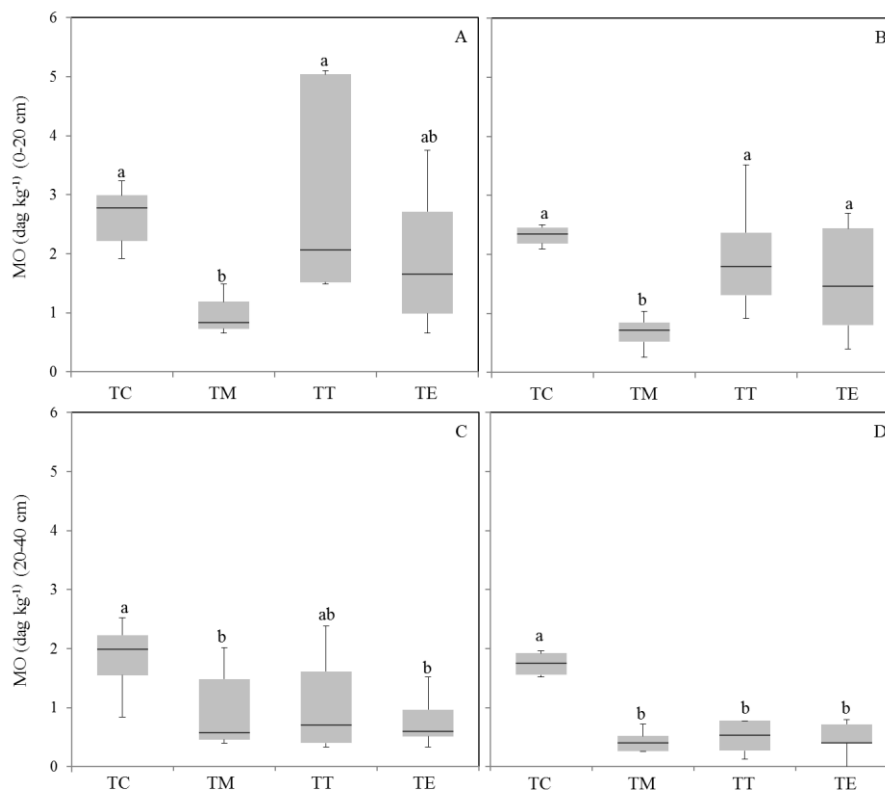


Figura 15. Medianas para os teores de Matéria Orgânica (MO) no solo sob Cerrado (TC) e nos diferentes tipos de pontos de coleta do substrato da cascalheira (TM, TT e TE), no município de Paracatu, MG (A) Camada superficial, estação seca; (B) Camada superficial, estação chuvosa; (C) Camada subsuperficial, estação seca; (D) Camada subsuperficial, estação chuvosa; TM = Amostras retiradas no substrato das covas onde mudas não sobreviveram; TE = Amostras retiradas no substrato das covas de *C. pachystachya*; TT = Amostras retiradas no substrato das covas de *T. guianensis*.

Em suma, os resultados das estatísticas não-paramétricas confirmaram algumas tendências evidenciadas nos diagramas da PCA (Figura 10 e Figura 11): O solo sob Cerrado (TC) apresenta maior acidez ativa e trocável, teores médios de MO e bons teores de K. O substrato das covas de *T. guianensis* (TT) apresentam, em sua camada superficial, teores adequados de fósforo tanto na estação seca quanto na estação chuvosa. As covas de *C. pachystachya* se equiparam às das mudas mortas, com baixos teores de P, K e MO.

4. DISCUSSÃO

4.1. Crescimento e sobrevivência das mudas plantadas

As 10 espécies mais abundantes na amostragem da vegetação plantada apresentaram desenvolvimento inferior aos de outros trabalhos que avaliaram áreas em processo de restauração com idades próximas a do presente estudo. Almeida e Sánchez (2015), avaliando área degradada pela extração de areia que na ocasião da amostragem estava há seis anos em processo de restauração, encontraram médias de altura (HT) variando entre 2,5 m e 5,3 m, sendo que a única espécie em comum com o presente estudo - *Tapirira guianensis* – apresentou o valor médio de 4,0 m de altura, mais que o dobro da média observada para essa variável no presente estudo, que foi de 1,7 m. Freitas (2012), avaliando o desempenho de espécies nativas do Cerrado cinco anos pós-plantio em área de degradada pela mineração de ardósia, encontrou para as espécies em comum com o presente estudo – *Eugenia disenterica* e *Plathymenia reticulata*, alturas em torno de 1,5 m e 3,0 m, mais que o triplo e mais que o dobro, respectivamente, dos valores encontrados no presente estudo (0,4 m e 1,4 m).

Com base nisso, percebe-se que as espécies supracitadas apresentam potencial de crescerem em altura em ritmos mais acelerados do que os observados na área de estudo, quando em condições ambientais mais adequadas.

O desenvolvimento observado nas mudas plantadas na cascalheira pode ser reflexo da falta de tratamentos culturais pós-plantio. No monitoramento realizado no terceiro ano pós-plantio, é provável que as mudas ainda conseguissem explorar os nutrientes disponibilizados via adubação nas covas. Entretanto, após esse período inicial de crescimento, recursos podem ter se esgotado e as raízes de muitas plantas podem ter encontrado condições químicas/físicas adversas, devido a ausência dos horizontes A e B do solo, refletindo em baixo crescimento e mortalidade. Almeida e Sánchez (2015) relatam que medidas de correção da acidez e adubação efetuadas durante o processo de restauração influenciam positivamente o desenvolvimento da vegetação implantada em áreas mineradas.

Outro fator que se soma ao problema da qualidade do substrato é a qualidade das mudas plantadas. O sucesso de programas de restauração está diretamente associado

com a qualidade morfofisiológica das mudas que serão plantadas (ANTONIAZZI et al., 2013; DUTRA et al., 2017).

Felfili e Santos (2002) recomendam correção da acidez e adubação dos solos quando é pretendido utilizar espécies de rápido crescimento, típicas de fisionomias florestais do Bioma Cerrado, na restauração de áreas degradadas. Das 10 espécies presentes em maior abundância na cascalheira (Tabela 4), sete são típicas de ambientes florestais, em que três são caracterizadas como pioneiras: *Cecropia pachystachya*, *Plathymenia reticulata* e *Tapirira guianensis*, sendo essas três as que apresentaram os maiores valores para médias de HT, também estando entre as que apresentaram maiores médias de diâmetro a altura de 30 cm do solo (DAS) (3,43 cm, 5,01 cm e 2,76 cm, respectivamente).

Tapirira guianensis, espécie pioneira de maior abundância na amostragem das mudas plantadas, é caracterizada como árvore perenifólia tolerante à luminosidade intensa, sendo recomendado seu uso para antecipar a cobertura de solos expostos em plantios de restauração, devido ao rápido crescimento (SOUZA et al., 2010). A espécie apresenta eficientes mecanismos de tolerância a déficits hídricos, como o armazenamento de água no seu tronco e a manutenção de folhas jovens em sua copa durante períodos de seca, permitindo melhor controle dos estômatos (MIRANDA et al., 2011).

Cecropia pachystachya, segunda espécie de maior abundância na amostragem das mudas plantadas, é conhecida como uma árvore muito eficiente em se estabelecer e colonizar áreas abertas, como clareiras e áreas degradadas, produzindo muitas sementes, que germinam em alto percentual e em poucos dias (RAPHAEL et al., 2015). É reportada como uma espécie capaz de estimular a sucessão devido ao grande número de espécies animais, como aves e morcegos, que a utilizam para repouso e alimentação, propiciando o transporte de sementes de outras espécies (CORRÊA et al., 2015).

A mortalidade geral das mudas plantadas no terceiro ano pós-plantio (22,84%), determinada pelo levantamento realizado pelo CRAD/UnB, pode ser considerada como baixa, tendo em vista que trabalhos avaliando projetos de restauração implantados por meio de mudas de espécies nativas do Bioma Cerrado indicam que taxas inferiores a 40% podem ser assim qualificadas (CORRÊA; CARDOSO, 1998; PILON; DURIGAN, 2013). No entanto, a diferença significativa entre a taxa de mortalidade no período inicial e no sexto ano pós-plantio (62,5%), considerada alta nesse último, revela a importância de monitoramentos contemplando maior horizonte temporal. Algo

semelhante foi constatado em uma cascalheira no Distrito Federal (DF), onde VIEIRA et al. (2015) observaram que quando uma área em processo de restauração foi avaliada aos 78 meses pós-plantio, apenas 21,9% dos indivíduos nativos plantados continuavam vivos.

De acordo com a Instrução Normativa nº 4, de 13 de Abril de 2011, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), via de regra o período de tempo em que deve ser realizado monitoramento e consequente avaliação de PRAD é de três anos após sua implantação. No entanto, a diferença entre o terceiro ano pós-plantio e o sexto ano pós-plantio revelam a importância de se contemplar maiores horizontes temporais no monitoramento da sobrevivência em cascalheiras, visto que a maior parte dos projetos de restauração raramente tem suas fases de monitoramento contemplando mais que cinco anos pós-implantação (RUIZ-JAEN; AIDE, 2005).

De maneira distinta ao observado na taxa de mortalidade geral, que contabilizou em seus cálculos todas as mudas plantadas, as mudas de *C. pachystachya* e *T. guianensis* apresentaram mortalidades inferiores a 30%, estando esse desempenho das espécies na cascalheira de acordo com os resultados de outros trabalhos, como os realizados por Silva e Corrêa (2008), Pilon e Durigan (2013) e Salomão et al. (2014) que já destacaram seus estabelecimentos e desenvolvimentos relativamente bons em ambientes degradados. Desse modo, são confirmados seus potenciais para o rápido recobrimento de substratos de áreas mineradas.

4.2. Qualidade física do substrato minerado e do solo sob Cerrado

Os valores de densidade do substrato nas covas de plantio da cascalheira foram ligeiramente maiores em relação ao solo sob Cerrado. Embora a compactação seja um problema frequente em áreas mineradas, comumente ocasionada pelo tráfego de máquinas e impacto das gotas de chuvas sobre o substrato desnudo, selando o espaço poroso (CORRÊA, 2006), as médias observadas para a densidade do substrato das covas da cascalheira, que variaram de 1,11 a 1,24 g cm⁻³, não apresentaram valores limitantes ao crescimento do sistema radicular, visto que para substratos argilosos os limites críticos de densidade variam entre 1,4 e 1,8 Mg m⁻³ (SILVA; CORRÊA, 2010). Além disso, os valores de porosidade total, que variaram entre 0,53 a 0,58 m³ m⁻³ nas

covas de plantio da cascalheira, também estiveram próximos aos encontrados por Gomide et al. (2011) e Giácomo et al. (2015) em solos argilosos sob vegetação nativa em Minas Gerais, onde as médias dessa variável estavam em torno de $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

A partir disso, é possível inferir que o preparo do substrato da cascalheira, que consistiu no revolvimento do substrato até 60 cm de profundidade por meio da subsolagem, propiciou a descompactação nas covas de plantio e conseqüente redução da densidade do substrato, e aumento da porosidade total, melhorias físicas promovidas na ocasião pré-plantio e que ainda são constatadas no sexto ano pós-plantio

As médias de umidade volumétrica (θ) merecem atenção, uma vez que Goedert (2005) considera $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ como o mínimo volume de água disponível que um solo deve possuir para o adequado crescimento de plantas. Nas coletas realizadas durante a estação seca, as análises indicaram que todos os valores de θ foram menores ou iguais a $0,13 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto que nas coletas provenientes da estação chuvosa, as médias para essa variável estiveram entre $0,14$ e $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, mostrando que na primeira estação os valores podem ser considerados como críticos, podendo levar a morte mudas menos tolerantes ao déficit hídrico.

Entretanto, é importante ressaltar que tais limites críticos foram propostos para sistemas agrícolas, e o uso deles como referências para espécies nativas do Cerrado deve ser feito com cautela, visto que nesse Bioma plantas jovens estão adaptadas a suportarem a escassez sazonal de água nas camadas mais superficiais do solo (PALHARES et al., 2010). No Cerrado Ralo (uma das subdivisões do Cerrado *sensu stricto*), por exemplo, a vegetação existente pode estar naturalmente associada aos solos com baixa capacidade de retenção de água (SPERA et al., 2005), situação que ocorre no remanescente de Cerrado nativo adjacente à área da cascalheira, visto que os conteúdos de θ observados nas amostras retiradas nesse remanescente (TC) não foram diferentes dos observados na cascalheira, levando a crer que a umidade neste local é semelhante ao observado em áreas onde existem comunidades de plantas nativas estabelecidas.

Era de se esperar que no fragmento de Cerrado ocorressem maiores teores de umidade volumétrica, devido maior cobertura do solo por árvores e arbustos, que está associada à interceptação da radiação solar, promovendo menor evaporação da água do solo. No entanto, os valores de θ observados no solo desse remanescente indicam que este possui baixa capacidade de retenção de água nas camadas avaliadas.

Em geral, as propriedades físicas do substrato das covas da cascalheira não tiveram grande variabilidade, visto que o diagrama da PCA e a comparação de médias

para densidade, porosidade total e umidade volumétrica mostraram que o substrato da cascalheira não apresentou diferenças significativas nos três tipos de pontos de coleta (TM, TT e TE). A pequena variabilidade dessas propriedades corroboram com estudo de Coelho (1983), em que foi relatada maior variação em atributos químicos do que em atributos físicos.

Portanto, no caso das covas na cascalheira, essas variáveis não puderam explicar com clareza as deficiências no crescimento e a mortalidade das mudas plantadas, indicando que não são as propriedades mais limitantes ao estabelecimento das mudas na área de estudo.

4.3. Qualidade química do substrato minerado e do solo sob Cerrado

Em geral, os substratos das covas da cascalheira apresentam qualidade química que pode ser considerada como limitante ao crescimento de mudas implantadas mais exigentes em fertilidade, tendo em vista os baixos valores de acidez ativa ($\text{pH} < 5,1$) e de fósforo, teores desprezíveis de cálcio e magnésio ($\leq 0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e altos teores de alumínio trocável ($\geq 3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SOUSA; LOBATO, 2004).

Devido a baixa qualidade química do substrato e às adubações insuficientes nas covas de plantio, das exigências nutricionais requeridas das espécies florestais implantadas, ocorreu a morte de grande parte das mudas. Assim, para evitar a morte das mudas causada pela baixa qualidade química do substrato em áreas degradadas, recomenda-se a correção da acidez e fertilidade, promovendo a manutenção de maiores teores de nutrientes por meio de adubações adicionais de cobertura (FELFILI; SANTOS, 2002; OLIVEIRA et al., 2015). Nesse âmbito, Pinheiro et al. (2004) argumentam que o uso de corretivos e fertilizantes agrícolas somente na ocasião do plantio de mudas pode não ser eficiente ao longo prazo em áreas mineradas, devido a disponibilização apenas temporária de grande quantidade de nutrientes, além de inibir associações entre plantas e microrganismos.

Embora tenham sido observadas diferenças significativas para o pH entre o solo sob cerrado (TC) ($\text{pH} < 4,5$) e as covas da cascalheira (TM, TT e TE) em ambas as estações, essas diferenças são mais pronunciadas na estação seca, tendo em vista que nessa estação a acidez ativa em TC pode ser classificada como muito elevada ($\text{pH} < 4,5$), enquanto que em TM, TT e TE são classificadas como elevadas (pH entre 4,5 –

5,0) (CFSEMG, 1999). Na estação chuvosa, essa propriedade pode ser classificada como muito elevada em todos os pontos de coleta (pH < 4,5), se mostrando mais limitante durante esse período. Maior acidez ativa (ou menores valores de pH) na estação chuvosa pode estar sendo originada pela hidrólise do Al³⁺ na solução do solo (SOUSA et al., 2007), de acordo com a reação:



Além de gerar acidez por hidrólise, o excesso de Al³⁺ nos solos também é associado à toxidez para as plantas (BAMBOLIM et al., 2015; GAVASSI et al., 2016). Por outro lado, no Bioma Cerrado, onde frequentemente ocorrem solos naturalmente ácidos, existem espécies nativas tolerantes ou resistentes ao alumínio, que em vez de excluir, absorvem grandes quantidades deste elemento, sendo que algumas espécies não crescem adequadamente na ausência de Al³⁺ (HARIDASAN, 2008; DURIGAN et al., 2011).

Apesar de algumas espécies desse Bioma terem desenvolvido mecanismos de adaptação às condições de excesso de Al³⁺ no solo (HARIDASAN et al., 1986; ANDRADE et al., 2011), o plantio na cascalheira utilizou várias espécies de ocorrência preferencial em fisionomias florestais, que naturalmente estão associadas a solos de maior fertilidade e menor acidez. A *Alibertia edulis*, por exemplo, apresentou médias relativamente baixas para as variáveis dendrométricas, o que pode ser justificado pelos efeitos do excesso do Al³⁺ presentes no substrato, tendo em vista que Silva (2015) aponta que esse íon ocasiona danos significativos às raízes e redução na absorção de nutrientes por plantas da espécie.

Esse autor ainda relata que *T. guianensis* apresenta maior resistência aos altos teores de Al³⁺, enquanto Brites et al. (2002) afirmam ser uma espécie altamente tolerante aos excessos, por meio de mecanismos que inibem a toxidez, o que está de acordo com os resultados do presente estudo, em que observamos médias de DAS e HT relativamente altas para essa espécie, assim como boas taxas de sobrevivência. A *Cecropia pachystachya* também é apontada na literatura como capaz de se estabelecer em locais com condições químicas limitantes: Pinheiro et al. (2004), avaliando uma área minerada para extração de areia que apresenta elevada acidez ativa (pH = 3,80) e potencial (H+Al = 9,5 cmol_c dm⁻³), notaram que a espécie estava entre as poucas arbóreas iniciando um processo sucessional.

Com relação aos componentes da soma de bases (SB), os teores de Ca+Mg foram classificados como muito baixos em todos os pontos de coleta, em ambas

profundidades e estações (SOUSA;LOBATO, 2004; GATTO et al., 2014). Nesse contexto, a correção da acidez do substrato por meio da aplicação de calcário nas covas de plantio possibilitaria melhores crescimentos das mudas plantadas, tendo em vista a utilização de mudas de espécies nativas mais exigentes no plantio. Quanto aos teores de K, notou-se que a retirada dos horizontes superficiais na cascalheira ocasionou a redução da disponibilidade desse nutriente, quando comparado com os padrões observados em TC. Entretanto, os teores obtidos na cascalheira não se enquadram como limitantes: Na subsuperfície (20-40 cm), onde foram registrados os menores teores de K no substrato das covas TM e TE, as medianas podem ser interpretadas como médias (K entre 26,0 e 50,0 mg dm⁻³) (SOUSA; LOBATO, 2004).

Os resultados das comparações dos teores de P e MO nos diferentes pontos de coleta evidenciaram relações solo-planta importantes. A relação entre TT e teores adequados de fósforo ($P > 8,1 \text{ mg dm}^{-3}$), e MO próxima ao solo sob cerrado permite inferir que nas covas de *Tapirira guianensis* houve melhor aplicação de nutrientes mediante a incorporação de fertilizantes NPK e de fontes orgânicas em relação à TM, onde baixos teores em ambas as camadas ($P < 3,1 \text{ mg dm}^{-3}$ e $MO < 2,4$), podem ter ocasionado a morte das mudas plantadas. Por outro lado, *Cecropia pachystachya* se mostrou uma espécie muito plástica em relação à química do substrato, conseguindo se estabelecer e crescer em condições semelhantes às que ocorrem nas covas onde outras plantas não conseguiram.

O importante papel da MO e do P como indicadores da qualidade do substrato de áreas mineradas já vêm sendo destacado em outros estudos avaliando áreas em processo de restauração. Almeida e Sánchez (2015), estudando áreas de cascalheiras, apontam como limites críticos para essas variáveis 1,4 dag kg⁻¹ e 2,58 mg dm⁻³, respectivamente. A relevância da MO como condicionadora do solo é bem reconhecida na literatura, sendo associada a melhorias na CTC, diminuição da toxidez por Al³⁺ mediante complexação, redução da atividade de H⁺ com consequente redução da acidez e redução da adsorção de P por solos altamente intemperizados (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Os teores de P inferiores à 3,0 mg/dm³ poderiam levar a crer que a retirada dos horizontes superficiais do solo levou a perda desse nutriente. Entretanto, no solo sob Cerrado (TC) também foram encontrados baixos teores desse nutriente. Novais et al. (2007) afirmam que em solos de regiões tropicais onde o intemperismo é intenso é comum encontrar altas quantidades de oxidróxidos de Fe e de Al e fração argila

pronunciada. Essas características acarretam problemas de adsorção de P, resultando em formas não-lábeis do elemento no solo. O fenômeno pode ainda se intensificar quando ocorrem baixos valores de pH, devido a presença de cargas positivas que favorecem a adsorção.

A adição de adubos orgânicos, como por exemplo, esterco animal pode mitigar esse problema, melhorando a qualidade física e química do substrato, pois contribui para que ocorra competição de ácidos orgânicos por sítios de adsorção e consequente aumento da disponibilidade de P para as plantas (GUPPY et al., 2005), além da liberação desse elemento pela própria mineralização da MO (LONGO et al., 2005). Os resultados obtidos corroboram com essas constatações, tendo em vista a correlação estreita entre a MO e o P evidenciada no diagrama da PCA e os padrões encontrados na comparação de medianas dessas variáveis (Figura 10, Figura 14 e Figura 15). Desse modo, a deficiência de MO é um fator que demanda esforços significativos durante um projeto de restauração de substratos degradados, conforme diversos trabalhos vêm apontando na literatura (LONGO et al., 2005). A remoção da vegetação e a retirada das camadas superficiais e subsuperficiais do solo ocasionam a perda da matéria orgânica e dos nutrientes minerais, prevalecendo, entretanto, o Al^{3+} , que reduz o pH, tornando o ambiente ácido e distrófico, mais limitante ao estabelecimento de vegetação, conforme pôde se observar na área de estudo.

5. CONCLUSÕES

Os baixos crescimentos em altura e diâmetro e as altas taxas de mortalidade da maior parte das mudas plantadas revelam que, aos cinco anos pós-plantio, o estabelecimento foi significativamente prejudicado pelas condições da área degradada.

No solo sob Cerrado foi observada qualidade física do solo semelhante ao substrato das covas da cascalheira, indicando que as propriedades investigadas (densidade, porosidade total e umidade volumétrica) não são limitantes nas covas da cascalheira.

O solo sob Cerrado possui melhores teores de matéria orgânica, enquanto que nas covas da cascalheira onde as mudas morreram foram observados os menores teores, indicando o importante papel da MO como condicionadora do solo e fonte de nutrientes às plantas.

Mudas de *Tapirira guianensis* estiveram associadas a maiores teores de fósforo e matéria orgânica no substrato, enquanto *Cecropia pachystachya* se mostrou uma espécie plástica em relação à química do substrato, sobrevivendo em condições que outras plantas não conseguiram se estabelecer.

A presença de altos teores de alumínio trocável que sofrem hidrólise durante a estação chuvosa torna a acidez do solo uma propriedade mais limitante ao crescimento das mudas plantadas, especialmente aquelas que não possuem mecanismos de tolerância à toxidez de Al^{3+} .

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado apontou que, no caso de uma área minerada pela extração de cascalho, o substrato preparado foi suficiente em manter a sobrevivência das mudas em níveis aceitáveis até o terceiro ano pós-plantio. Entretanto, quando os recursos do substrato preparado se esgotam e as raízes das mudas não conseguem se expandir além do volume da cova preparada, a interação dessas condições leva a morte das mudas das espécies menos rústicas (processo conhecido como “efeito de vaso”). Portanto, é importante que futuras pesquisas investiguem melhor esse efeito, propondo alternativas mais eficazes para o preparo do substrato degradado em áreas mineradas, tendo em vista as consequências para o sucesso de projetos de restauração.

REFERÊNCIAS

ALDAY, J. G.; MARRS, R. H.; MARTÍNEZ-RUIZ, C. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. **Applied Vegetation Science**, Edinburgh, v. 14, n. 11, p. 84-94, 2011.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Indicadores da qualidade do substrato para monitoramento de áreas de mineração revegetadas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 153-163, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2016.

ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 887-893, 2012.

- ANDRADE, L. R. M.; BARROS, L. M. G.; ECHEVARRIA, G. F.; AMARAL, L. I. V.; COTTA, M. G.; ROSSATTO, D. R.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Al-hyperaccumulator Vochysiaceae from the Brazilian Cerrado store aluminum in their chloroplasts without apparent damage. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 37-42, 2011.
- ANTONIAZZI, A. P.; BINOTTO, B.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Eficiência de recipients no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 313-317, 2013.
- AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 32-41, 2014.
- BAMBOLIN, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N. F.; SEBEN JUNIOR, G. F.; FERBONINK, G. F. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 3, p. 34-38, 2015.
- BRADSHAW, A. The use of natural processes in reclamation – advantages and difficulties. **Landscape and Urban Planning**, v. 51, p. 89-100, 2000.
- BRANCALION, P. H. S., VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**, Viçosa, Editora UFV, 2015, p.251-258.
- BRITTEZ, R. M.; REISSMANN, C. B.; WATANABE, T.; OSAKI, M. Efeito do alumínio no desenvolvimento e nutrição de *Tapirira guianensis* Aublet em solução hidropônica. **Revista Floresta**, Paraná, v. 32, n. 2, p. 171-187, 2002.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no Cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAVA, M. G. B.; ISERNHAGEN, I.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens abandonadas. **Hoehnea**, São Paulo, v. 43, n. 2, 2016.
- CARRIJO, C.; MARTINS, R. C. C.; MARTINS, I. S.; LANDAHL, D. T.; MATOS, J. M. M.; NAKANO, T. Y. R. Estabelecimento de *Eriotheca pubescens* (BOMBACACEAE) por meio de semeadura direta e de mudas em cascalheira. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 366-371, 2009.
- CEACERO, C. J.; DÍAZ-HERNANDEZ, J. L.; DEL CAMPO, A. D.; NAVARRO-CERRILO, R. M. Interactions between soil gravel content and neighboring vegetation control management in oak seedling establishment success in Mediterranean environments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 271, p. 10-18, 2012.
- COELHO, M. G. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em um solo salino-sódico. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 14, p. 149-156, 1983.

- CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado: Manual para revegetação**. 1ª ed. Brasília: Universa, 2006. 187p.
- CORRÊA, R. S.; CARDOSO, E. S. Espécies testadas na revegetação de áreas degradadas. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. (Orgs.) **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Paralelo 15, 1998. p. 101-116.
- CORRÊA, R. S.; BENTO, M. A. B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1435-1443, 2010.
- CORRÊA, R. S.; MÉLO FILHO, B.; PINHEIRO, C. Q.; SANTOS, P. F. Composição florística lenhosa de jazidas revegetadas no Distrito Federal. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 908-922, 2015.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, Editora UFV, 1994, 394p.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS, O. V.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado**. 3ª ed. São Paulo: SMA, 2011. 19 p.
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de Canafístula (*Peltophorum dubium*). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 491-498, 2016.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- FONTES, M. P. F. Estudo pedológico reduz impacto da mineração. **Ambiente**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 58-62, 1991.
- GATTO, A.; BUSSINGUER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, 2014.
- GAVASSI, M. A.; SILVA, C. M. S.; SILVA, G. S.; CARVALHO, B. M. O.; CAVALHEIRO, M. F.; HABERMANN, G. Destaques em tolerância ao Alumínio: Plantas de Cerrado vs Cultivadas. **Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, v. 8, n. 1, 2016.
- GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 617,631, 2015.
- GOEDERT, W. J. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – XXX CBCS**, 2005, Recife, Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-20.

- GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 567-577, 2011.
- GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.
- GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reaction between phosphorus and organic matter: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, p. 189-202, 2005.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica* 4(1): 9p. 2001.
- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.
- HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008.
- HARIDASAN, M. PAVIANI, T. I.; SCHIAVINI, I. Localization of aluminum in the leaves of some aluminum-accumulating species. **Plant and Soil**, v. 94, p. 435-437, 1986.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, 2016.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas, 2017. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: jan. 2017.
- LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 101-107, 2005.
- MARQUES, A. F. S. M.; MARTINS JUNIOR, P. P.; VASCONCELOS, V. V.; NOVAES, L. A. D. Proposição metodológica para a cartografia de solos e aptidão agrícola: Estudo de caso para a bacia do Rio Paracatu. **Revista Brasileira de Geografia física**, Pernambuco, v.1, p.1-17, 2012.
- MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.
- MIRANDA, L. A. P.; VITÓRIA, A. P.; FUNCH, L. S. Leaf phenology and water potential of five arboreal species in gallery and montane forests in the Chapada Diamantina; Bahia; Brazil. **Environmental and experimental Botany**, v. 70, p. 143-150, 2011.

- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2007, 1017p.
- PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; ZAIDAN, L. B. P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 213-220, 2010.
- PEREIRA, I. M.; GONZAGA, A. P. D.; MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA, M. L. R.; MARQUES, I. C. Estrutura da vegetação colonizadora em ambiente degradado por extração de cascalho em Diamantina, MG. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 77-88, 2015.
- PILON, N. A. L.; DURIGAN, G. Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 389-399, 2013.
- PINHEIRO, R. A.; FISCH, S. T. V.; ALMEIDA, A. A cobertura vegetal e as características do solo em área de extração de areia. **Revista Biociência**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 103-110, 2004.
- PRADO, B. Q. M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; LAIA, G. A.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 407-413, 2016.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing, 2016. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- RAPHAEL, M. B.; CHONG, K. Y.; YAP, V. B.; TAN, H. T. W. Comparing germination success and seedling traits between exotic and native pioneers: *Cecropia pachystachya* versus *Macaranga gigantea*. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 216, p. 1019-1027, 2015.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- REIS, L. L. **Monitoramento da recuperação ambiental de áreas de mineração de bauxita na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Porto-Trombetas (PA)**. 159 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.
- ROSEMARY, F.; VITHARANA, U. W. A.; INDRARATNE, S. P.; MISHRA, U. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. **Catena**, v. 150, p. 53-61, 2017.
- RUIZ-JAEN, M. C.; AIDE, T. M. Restoration Success: How is it being measured. **Restoration Ecology**, Malden, v. 13, n. 3, p. 569-577, 2005.
- SALOMÃO, R. P.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p.1-24, 2014.

SILVA, I. L. **Efeitos morfofisiológicos do alumínio em duas espécies vegetais, não acumuladoras de Al, ocorrentes no Cerrado**. 36 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 731-740, 2008.

SILVA; L. C. R.; CORRÊA, R. S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 835-841, 2010.

SILVA, J. M.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Autocorrelação espacial em população natural de *Terminalia argentea* Mart et Succ. No cerrado de Selvíria, MS. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 94-99, 2004.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2007, 1017p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. 2007, 1017p.

SOUZA, B. D.; RODRIGUES, B. M.; ENDRES, L.; SANTOS, M. G. Ecophysiology parameters of four Brazilian Atlantic Forest species under shade and drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Krakow, v. 32, n. 4, p. 729-737, 2010.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, É.; CORREIA, J. R. **Atributos físicos de solos e distribuição das fitofisionomias de Cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Jardim, DF**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005, 18p.

VENTUROLI, F.; VENTUROLI, S.; BORGES, J. D.; CASTRO, D. S.; SOUZA; D. M.; MONTEIRO, M. M.; CALIL, F. N. Incremento de espécies arbóreas em plantio de recuperação de área degradada em solo de Cerrado no Distrito Federal. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 143-151, 2013.

VIEIRA, D. A., MARTINS, T. O.; CARRIJO, C.; MARTINS, R. C. C.; SCARDUA, F. Avaliação da sobrevivência, crescimento e forma de plantio de três espécies nativas do bioma Cerrado. In: **SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, VI**, São Paulo, 2015. Anais..., Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, p. 240-241.