CRESCIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS PLANTADAS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE CASCALHO EM USINA HIDRELÉTRICA

Wendy Carniello Ferreira¹ Danival Vieira de Freitas² Daniela Pereira Dias³ Soraya Alvarenga Botelho⁴

¹Professor. Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí. e-mail: wcerreira_4@hotmail.com

²Professor. Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí.

³Professora. Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí.

⁴Professora. Curso de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras.

Recebido em: 03/10/2016 – Aprovado em: 21/11/2016 – Publicado em: 05/12/2016
DOI: 10.18677/EnciBio_2016B_031

RESUMO

A recuperação de áreas degradadas é fundamental para mitigar os impactos ambientais oriundos das atividades econômicas. Este estudo visou avaliar as árvores plantadas em área onde houve extração de cascalho na margem de reservatório de usina hidrelétrica por meio do crescimento em altura e diâmetro das diferentes espécies, da modelagem do crescimento e densidade do povoamento em função de atributos químicos e físicos do substrato e da análise estrutural em comparação a outras áreas degradadas em recuperação. Foram mensurados os indivíduos arbóreos plantados e em regeneração natural com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) maior que 5,0 cm. O efeito de atributos químicos e físicos do solo sobre as árvores foi determinado por meio de análises de regressão múltipla. Algumas espécies climáticas como *Machaerium villosum*, *Protium heptaphyllum* e *Tipuana tipu* apresentaram crescimento superior que maioria das pioneiras devido à idade avançada do plantio. As espécies nativas da região *Bowdichia virgilioides*, *Machaerium villosum*, *Protium heptaphyllum*, *Hymenaea courbaril*, *Rapanea ferruginea*, *Copaifera langsdorffii*, *Eremanthus incanus* e *Sebastiania schottiana*, plantadas onde houve a exploração de cascalho, apresentam maior vigor quando comparadas às outras espécies. O crescimento em altura e diâmetro e a densidade do povoamento foram influenciados negativamente pelo pH e pelo teor de silte e positivamente pelo teor de matéria orgânica e pela saturação de bases do substrato. A regeneração natural de *Dalbergia miscolobium*, *Eremanthus incanus* e *Styrax ferrugineus* indica que estas espécies podem ser utilizadas para recuperação de áreas degradadas.

PALAVRAS-CHAVE: áreas degradadas, restauração florestal, silvicultura.

GROWTH OF TREE SPECIES PLANTED ON GRAVEL EXPLORATION AREA IN HYDROELECTRIC POWER PLANT

ABSTRACT

The recovery of degraded areas is fundamental to mitigate environmental impacts from economic activities. This study aimed to evaluate the trees planted in an area where there was gravel extraction on the shore of hydroelectric plant reservoir through the growth in height and diameter of the different species, the growth modeling and density of the stand in terms of chemical and physical properties of the substrate and structural analysis in comparison to other degraded areas in reclamation. Planted trees and natural regeneration with diameter of 1.30 m above the ground (DBH) greater than 5.0 cm were measured. The effect of chemical and physical properties of the soil on the trees was determined by multiple regression analysis. Some climax species as *Machaerium villosum*, *Protium heptaphyllum* e *Tipuana tipu* showed higher growth than most of the pioneers due to the advanced age of the plantation. The native species *Bowdichia virgilioides*, *Machaerium villosum*, *Protium heptaphyllum*, *Hymenaea courbaril*, *Rapanea ferruginea*, *Copaifera langsdorffii*, *Eremanthus incanus* e *Sebastiania schottiana*, planted where there was exploitation of gravel, have greater vigor when compared to other species. The growth in height and diameter and the density of the stand were negatively influenced by the pH and the silt content and positively by organic matter content and the saturation bases of the substrate. Natural regeneration of *Dalbergia miscolobium*, *Eremanthus incanus* and *Styrax ferrugineus* indicates that these species can be used for land reclamation.

KEYWORDS: land degradation, forest restoration, silviculture.

INTRODUÇÃO

As intervenções do homem visando melhorar a proteção dos recursos naturais e a função ambiental das áreas degradadas por práticas danosas de uso solo se iniciaram a bastante tempo. Contudo, a avaliação científica destas práticas é recente (FREITAS et al., 2015).

A mineração é um ramo da economia fundamental para vários setores. Nestas áreas, a recuperação natural da vegetação é lenta e a sucessão pode retardar por décadas até que a matéria orgânica e a condição estrutural do solo sejam restabelecidas. Para minimizar este impacto, a legislação exige a restauração da vegetação nativa (GONZALO et al., 2015).

As usinas hidrelétricas geram degradação da paisagem, além de promover a retirada total ou parcial da vegetação presente ao redor dos rios devido a presença do reservatório, as usinas hidrelétricas também causam outros impactos sobre a paisagem (MORETTO et al., 2012). Tais impactos são gerados pela alteração do uso do solo, com a criação de áreas de empréstimo e de descarte de rochas e restos de obras, formando áreas com solos muito alterados, com impacto direto na sua capacidade de recuperação. Segundo BONINI et al. (2011), estes locais são, geralmente, exploradas com maquinários pesados, que causam compactação ao solo, fazendo com este não apresente condições para que haja restauração natural.

Por serem áreas de baixo potencial biológico, onde substrato resultante não permite que o processo de regeneração natural, os locais denominados com áreas de empréstimo impossibilitam a implantação de métodos convencionais de recuperação, obrigando a adoção de técnicas que estimulem ou aceleram a revegetação. Nestes casos, o manejo apropriado da topografia e do substrato destes

locais pode provocar repostas biológicas favoráveis e acelerar o processo sucessional (VASCONCELLOS et al., 2013, ROCHA et al., 2015).

Segundo ALMEIDA & SÁNCHEZ (2015), o restabelecimento da vegetação tem sido buscado nas ações que visam recuperar áreas que passaram por degradação. O acompanhamento, a fiscalização e a avaliação dos resultados da implantação de medidas de recuperação ambiental em áreas de empréstimo são raramente implementados de modo sistemático. Entretanto, estas são atividades fundamentais para garantir sucesso de um programa de revegetação. Segundo estes mesmos autores a recuperação pode ser avaliada segundo diferentes pontos de vista, como o aspecto geral da vegetação, o porte dos indivíduos arbóreos, a diversidade dos indivíduos presentes no estrato inferior da floresta, características edáficas, dentre outros. Sendo assim, este estudo visou avaliar as árvores plantadas em área onde houve extração de cascalho na margem de reservatório de usina hidrelétrica por meio do crescimento em altura e diâmetro das diferentes espécies, da modelagem do crescimento e densidade do povoamento em função de atributos químicos e físicos do substrato e da análise estrutural em comparação a outras áreas degradadas em recuperação.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização e histórico do local de estudo

O estudo foi conduzido na margem direita da UHE de Camargos, de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), em Itutinga, Minas Gerais. A área possui 2,5 ha e 910 metros de altitude, nas coordenadas 21°19'43" S e 44°36'46" O.

Na ocasião da construção da Usina nos anos 50, a área de estudo foi desmatada e houve a retirada de solo, classificado como Latossolo Vermelho Escuro (FARIA et al., 1997), de cerca de três metros de profundidade. Até a década de 80 não foram realizadas atividades que promovessem a recuperação deste local, havendo apenas vegetação herbácea, que se desenvolveu espontaneamente, o que não atende à necessidade de proteger o solo (Figura 1).

Todos estes fatores contribuíram para a degradação edáfica e aceleração dos processos erosivos, com o aparecimento de sulcos profundos de erosão e voçorocas. Para recuperar este local, as práticas mecânicas de recuperação realizadas foram a construção de terraços em nível e a subsolagem de toda a área, com posterior sulcamento em nível intercalado às linhas de subsolagem. Com relação às práticas vegetativas, foram utilizadas simultaneamente a adição de cobertura morta, a semeadura de capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e *Calopogonium* e o plantio de espécies florestais nativas e exóticas.

O plantio das espécies florestais foi realizado no espaçamento de 3,0 x 1,5 m, em quincênio, com base nos princípios de sucessão secundária, alternando linhas de espécies pioneiras com linhas de espécies clímax. A adubação utilizada foi de 250 g/cova de superfosfato simples. Estas práticas foram adotadas seguindo o modelo de recomposição de mata ciliar proposto pelo projeto Mata Ciliar do convênio CEMIG/UFLA/FAEPE para áreas de empréstimo de terra (BOTELHO et al., 1995).

FIGURA 1. Aspecto do substrato da área de estudo anteriormente ao processo de recuperação. Encrostamento superficial (a) e erosão em sulcos (b).

Coleta de dados

Os dados foram coletados 192 meses depois do plantio, em dez parcelas de 1.500 m² (60 x 25 m), distribuídas de forma sistemática, totalizando uma área amostral de 1,5 ha (60% da área de exploração de cascalho reflorestada), com sua maior dimensão no sentido do declive, visando englobar o plantio da margem do reservatório até o seu final na cota mais alta (Figura 2). A largura de parcela foi estabelecida de forma a incluir no mínimo 15 plantas por linha (espaçamento de plantio 3,0 x 1,5 m). As árvores plantadas e em regeneração natural com DAP maior que cinco centímetros foram avaliados. Foi utilizada uma fita métrica para medir o CAP e, posteriormente, foi estimada a altura das árvores por comparação com o podão de 13 m, seguindo metodologia de MACHADO et al. (2004). Foi utilizada uma escala notas entre 1,0 e 5,0 para avaliar o vigor e a senescência das espécies plantadas (Quadro 1), visando determinar a adaptação das espécies arbóreas à área de exploração de cascalho, conforme FERREIRA et al. (2009).

FIGURA 2. Croqui da área de exploração de cascalho reflorestada às margens do reservatório da UHE Camargos, MG e, a locação das parcelas utilizadas no presente estudo (GOOGLE EARTH, 2016).

QUADRO 1. Escala de Notas para avaliação do vigor das árvores.

NOTA	CARACTERISTICA DA PLANTA
5,0	Planta vigorosa com copa perfeita.
4,0	Planta vigorosa com poucos galhos mortos.
3,0	Planta com metade dos galhos mortos.
2,0	Planta senescente com poucos galhos vivos.
1,0	Planta senescente com poucas folhas.

As espécies foram classificadas segundo o seu grupo ecológico, adotando-se a metodologia descrita por SWAINE & WHITMORE (1988), com modificações sugeridas por OLIVEIRA-FILHO et al. (1994), nas seguintes categorias: pioneiras, clímax exigente de luz e clímax tolerante à sombra. A análise completa de solo foi realizada, a partir da coleta de uma amostra por parcela, na camada de 0-20 cm de profundidade. Foi utilizado um penetrômetro de impacto (IAA/PLANALSUCAR-STOLF) para determinar a resistência mecânica do solo à penetração até 60 cm de profundidade, seguindo a metodologia descrita por STOLF et al. (1983). Os dados foram analisados com o uso do programa PENETRON (STOLF, 1991), com os valores obtidos em kgf/cm² foram convertidos para MPa.

Após a coleta dos dados, foram calculados o DAP médio, a altura média, e a nota média para cada espécie. O incremento médio anual (IMA) foi obtido a partir da divisão da altura e do DAP médios por 16 anos (192 meses). Para estimativa da diversidade, calculou-se o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') (FELFILI et al., 2011).

Para verificar o efeito dos atributos químicos (pH, P, K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, S H+Al, soma de bases, Capacidade de Troca Catiônica, índice de Saturação de Bases, saturação de alumínio e matéria orgânica) e físicos (textura e resistência à penetração) do substrato (variáveis independentes) sobre as variáveis: resposta altura média por parcela, DAP médio por parcela e densidade de plantas por hectare por parcela, foram realizadas análises de regressão múltipla, utilizando-se o programa SISVAR, pelo método de seleção de variáveis *Forward* (FERREIRA, 2014).

Este método consiste em analisar a regressão contendo o maior número de variáveis desejado ou possível e, posteriormente, promover a redução do modelo (número de variáveis), através da comparação do teste F parcial de cada variável com o teste F, de tabela. Os passos básicos para a construção de modelo a partir desse método consistem em: ajustar a equação de regressão contendo todas as variáveis propostas; calcular o valor parcial de F para todas as variáveis envolvidas no ajuste; a variável que apresentar o menor valor de F parcial (Fp) deve ter esse valor comparado com F, de tabela (Ft); se Fp < Ft, remover essa variável do modelo e ajustar nova regressão sem ela; repetir o procedimento a partir do segundo passo; se Fp > Ft, então o modelo ajustado já é o modelo definitivo (SCOLFORO, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento individual das espécies

As espécies que apresentaram os dez maiores crescimentos em diâmetro foram *Eucalyptus* sp., *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Machaerium villosum*,

Inga marginata, *Bowdichia virgilioides*, *Anadenanthera colubrina*, *Tipuana tipu*, *Mimosa scabrella* e *Dalbergia miscolobium*. Com relação ao crescimento em altura, as dez espécies que se destacaram foram *Eucalyptus* sp., *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Bowdichia virgilioides*, *Machaerium villosum*, *Anadenanthera colubrina*, *Tapirira guianensis*, *Protium heptaphyllum*, *Tipuana tipu* e *Cecropia pachystachya* (Tabela 1).

Dentro dos resultados apresentados acima, um fato interessante a se notar é que, das 10 espécies com os maiores crescimentos em diâmetro e altura, nove e seis espécies, respectivamente, são classificadas como da família Fabaceae, apesar de apenas 48% das espécies encontradas pertencerem a esta família.

O grande crescimento apresentado, tanto em altura como em DAP, por espécies da família Fabaceae corrobora os estudos de vários autores que observaram que estas espécies são eficientes na recuperação de áreas degradadas (JESUS et al., 2015; SILVA et al., 2015). O rápido crescimento das Fabaceae em ambientes adversos pode ser explicado, principalmente, pela capacidade de se associarem a bactérias do gênero *Rhizobium* e fungos micorrízicos (NOGUEIRA et al., 2012), dando assim condições para o crescimento das espécies climácicas e promovendo o estabelecimento da regeneração natural (CHADA et al., 2004).

Após 16 anos do reflorestamento da área degradada, apenas *Dalbergia miscolobium*, com um indivíduo, *Eremanthus incanus*, com seis indivíduos e *Styrax ferrugineus*, com um indivíduo, espécies não plantadas, mas que apresentaram indivíduos com DAP $\geq 5,0$ cm, foram provenientes de regeneração natural. Num levantamento florístico expedito na área, foram identificadas 40 espécies arbóreas com DAP $< 5,0$ cm e altura > 30 cm. Neste caso, considera-se que houve em atraso na regeneração devido ao grau de degradação da área, pois apenas oito indivíduos de apenas três espécies alcançaram o estrato arbóreo aos 192 meses.

A riqueza de regenerantes com DAP $< 5,0$ cm é considerável (40 espécies), comparando-se com o trabalho de SOUZA et al. (2012), desenvolvido na mesma região, fato este que indica a sustentabilidade da recuperação pelo recrutamento de novos indivíduos arbóreos. As espécies *D. miscolobium*, *E. incanus* e *S. ferrugineus* são comuns em florestas secundárias, sendo adaptadas a solos secos e degradados, além de apresentarem crescimento rápido, podendo ser definidas como colonizadoras (BRAZ et al., 2000; SCOLFORO et al. 2012; SOUZA et al., 2012; AMARAL et al., 2013; LEFEBVRE & NASCIMENTO, 2016). Assim, podem ser utilizadas para recuperação de áreas em condições semelhantes.

Entre as espécies com as dez maiores taxas de crescimento tanto em altura quanto em diâmetro, excluindo-se o *Eucalyptus*, que não foi classificado quanto ao grupo ecológico por ter sido identificado apenas ao nível de gênero, três são classificadas como climácicas. Este fato indica que, aos 192 meses, as espécies climácicas já encontram condições favoráveis para o seu crescimento, que foi proporcionado inicialmente por espécies que apresentam características do grupo ecológico de pioneiras como *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis* (PINYOPUSARERK et al., 1993), que já se encontram em início de senescência.

As espécies nativas da região *Bowdichia virgilioides*, *Machaerium villosum*, *Protium heptaphyllum*, *Hymenaea courbaril*, *Rapanea ferruginea*, *Copaifera langsdorffii*, *Eremanthus incanus* e *Sebastiania schottiana*, plantadas onde houve a exploração de cascalho, apresentam maior vigor quando comparadas às outras espécies. Foi observado que dentre as espécies mais vigorosas, que apresentaram as dez maiores notas, apenas *Syzygium jambolanum* não é encontrada em levantamentos florísticos em fragmentos da região (Tabela 1). Isto indica claramente

que o uso de espécies nativas, adaptadas às condições do local em recuperação, é mais vantajoso que o uso de espécies exóticas, o que é uma tendência atual nas pesquisas de recuperação florestal.

TABELA 1. Grupo ecológico, altura média, DAP médio, incremento médio anual em altura e DAP das espécies do estrato arbóreo (DAP≥5 cm) na área de empréstimo às margens da UHE de Camargos, aos 192 meses de idade.

Espécie	Grupo ecológico¹	H média (m)	DAP médio (cm)	IMA H (m)	IMA DAP (cm)	Nota média
<i>Eucalyptus</i> sp.	-	15,6	22,8	1,0	1,4	3,1
<i>Acacia mangium</i> Willd.	P	12,5	21,9	0,8	1,4	2,2
<i>Acacia auriculiformis</i> A. Cunn. ex Benth	P	11,7	18,9	0,7	1,2	2,6
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth.	P	10,0	17,8	0,6	1,1	5,0
<i>Machaerium villosum</i> Vogel.	CL	9,0	18,9	0,6	1,2	5,0
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan.	P	8,9	14,8	0,6	0,9	3,8
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	CL	8,0	7,3	0,5	0,5	5,0
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	P	8,0	10,1	0,5	0,6	4,8
<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	P	7,9	6,7	0,5	0,4	4,1
<i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze	CL	7,9	13,7	0,5	0,9	3,5
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	CL	7,8	6,8	0,5	0,4	5,0
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	P	7,5	12,5	0,5	0,8	2,5
<i>Platypodium elegans</i> Vog.	CL	7,2	10,6	0,4	0,7	4,6
<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin.	P	7,2	8,7	0,4	0,5	4,6
<i>Tibouchina candolleana</i> (Mart. ex DC.) Cogn.	CL	7,1	9,2	0,4	0,6	3,6
<i>Inga vera</i> Willd. subsp. <i>affinis</i> (DC.) T.D. Penn.	CL	7,0	8,2	0,4	0,5	3,9
<i>Rapanea ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez.	P	7,0	6,4	0,4	0,4	5,0
<i>Senna multijuga</i> (LC Rich.) Irwin & Barn.	P	7,0	11,5	0,4	0,7	3,3
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	CL	7,0	6,9	0,4	0,4	4,2
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) Macbr.	P	6,8	8,2	0,4	0,5	4,1
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.	P	6,7	8,6	0,4	0,5	3,9
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. ex Benth.	CS	6,6	9,6	0,4	0,6	3,8
<i>Sterculia chicha</i> St.-Hil.	CL	6,6	7,6	0,4	0,5	4,3
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth. *	P	6,5	11,8	-	-	3,0
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	P	6,5	6,0	0,4	0,4	4,5

Engl.						
<i>Senna macranthera</i>						
(Collad.) Irwin & Barn.	P	6,4	9,1	0,4	0,6	2,8
<i>Syzygium jambolanum</i>						
(Lam.) DC.	CL	6,2	9,6	0,4	0,6	4,7
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>						
Benth.	P	6,1	9,1	0,4	0,6	4,7
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl)						
Nichols.	CS	6,1	5,8	0,4	0,4	3,4
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.)						
Engl.	P	6,0	8,6	0,4	0,5	4,3
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	P	6,0	7,7	0,4	0,5	2,8
<i>Inga marginata</i> Willd.	CS	5,9	18,5	0,4	1,2	4,4
<i>Enterolobium</i>						
<i>contortisiliquum</i> (Vell.)						
Morong.	CL	5,7	9,4	0,4	0,6	2,8
<i>Peltophorum dubium</i>						
(Spreng.) Taub.	CL	5,7	7,9	0,4	0,5	3,7
<i>Ceiba speciosa</i> (St.Hil.)						
Ravenna	CL	5,4	9,9	0,3	0,6	2,8
<i>Croton urucurana</i> Baill.	P	5,3	5,3	0,3	0,3	1,7
<i>Tabebuia chrysotricha</i>						
(Mart. ex DC.) Standl.	CL	5,3	5,7	0,3	0,4	4,2
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.						
Don.	CL	5,1	6,8	0,3	0,4	2,8
<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.)						
Sand.	CL	5,0	6,5	0,3	0,4	4,0
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	CS	4,9	5,2	0,3	0,3	5,0
<i>Eremanthus incanus</i> Less. *	P	4,8	7,0	-	-	5,0
<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex						
Tul.	CL	4,3	5,3	0,3	0,3	2,3
<i>Sebastiania schottiana</i>						
Müll.Arg.	P	4,0	9,4	0,3	0,6	5,0
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees &						
Mart. *	P	4,0	4,9	-	-	3,0

1) P=pioneira; CL=clímax exigente de luz e CS=clímax tolerante à sombra.

* Espécie procedente de regeneração natural.

Modelagem do crescimento do povoamento em função de atributos químicos e físicos do substrato

Os modelos de regressão que melhor estimaram as variáveis dependentes altura média por parcela, DAP médio por parcela e densidade de plantas por hectare por parcela, em função das variáveis independentes edáficas: pH, P, K, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , S, H+Al, soma de bases, Capacidade de Troca Catiônica, índice de Saturação de Bases, saturação de alumínio, matéria orgânica, textura e resistência à penetração 0-60cm são mostrados na Tabela 2.

TABELA 2 – Equações estimadas para altura (m), DAP (cm) e densidade (plantas/ha) em função dos atributos do substrato

Equação	R ² (%)	C.V (%)
$\hat{H} = 6,1044 + 1,9717 m.o$	47	5,48
$\hat{DAP} = 31,5918 - 1,9784 pH - 0,2818 silte$	90	2,90
$\hat{dens} = 263,7638 + 15,7920V$	36	22,34

Onde:

$\hat{H}$ = altura (m);

$\hat{DAP}$ = diâmetro à altura do peito à 1,30m (cm);

$\hat{den}$ = densidade (plantas/ha);

m.o. = matéria orgânica;

pH = pH em água;

silte = teor de silte;

V = Índice de saturação de bases.

Verificou-se que houve efeito das variáveis: matéria orgânica, pH, teor de silte e saturação de bases, confirmado pelos modelos ajustados e os valores de R². De acordo com os modelos obtidos, foi verificado que as parcelas apresentaram grande variação no crescimento em altura e DAP e na densidade do estrato arbóreo. O crescimento em altura foi influenciado positivamente pelo teor de matéria orgânica do solo, ou seja, nas parcelas onde há mais matéria orgânica no solo as árvores plantadas são mais altas. O crescimento em (DAP) foi influenciado negativamente pelo pH e pelo teor de silte do solo, pois, nas parcelas onde há mais silte e o pH do solo é mais alto, as árvores tem menor diâmetro.

O fato aparentemente contraditório das parcelas com maiores valores de pH apresentarem menores crescimentos em diâmetro pode indicar que houve uma calagem excessiva no plantio, o que pode ter acarretado problemas de disponibilidade de micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn), causando problemas de disponibilidade dos mesmos para as plantas. Com relação à densidade de plantas, o modelo mostra que nas parcelas com maiores níveis de saturação por bases (V), há maior número de plantas por hectare. Este resultado indica que a mortalidade das mudas plantadas foi menor nessas áreas, resultando em maior número de mudas estabelecidas.

Análise estrutural

A diversidade, o crescimento das árvores em altura, diâmetro e área de copa, o acúmulo de fitomassa, as características da copa, a densidade arbórea do povoamento e a evolução da área basal são indicadores que refletem bem o desempenho das espécies implantadas (ALMEIDA & SÁNCHEZ, 2015). Portanto neste estudo, alguns parâmetros estruturais foram utilizados como ferramentas para avaliar a recuperação desta área.

Com relação à riqueza e a diversidade de espécies do estrato arbóreo deste estudo (Riqueza=44; H'=2,89) em comparação com outros plantios de recuperação de matas ciliares com idades mais avançadas, pode-se dizer que o número de

espécies encontradas foi relativamente alto. HARDT et al. (2006) avaliando 19 áreas de matas ciliares plantadas na Bacia do Rio Corumbataí no estado de São Paulo encontraram uma média de 24,7 espécies. NÓBREGA et al. (2007) estudando áreas em recuperação no Rio Mogi Guaçu, SP, encontraram uma média de 42,7 espécies e H' variando de 1,6 a 2,1. MELO & DURIGAN (2007) encontraram uma riqueza média de 25,3 espécies e H' variando de 2,91 a 1,64, em plantios de restauração no Vale do Rio Paranapanema, SP.

A área basal encontrada neste estudo foi de 16,26 m²/ha, a densidade foi de 726 indivíduos/ha e a altura média encontrada foi de 8,5 m. Em uma área de mata ciliar revegetada com 13 anos de idade no Rio Paranapanema, MELO & DURIGAN (2007) encontraram uma área basal de 23,32 m²/ha, densidade de 1.688 indivíduos/ha e altura média de 7,18 m. Esses menores valores de densidade e área basal na área de empréstimo de cascalho, mesmo ela tendo sido revegetada três anos antes, mostram que provavelmente as árvores estão sofrendo os efeitos das sérias limitações edáficas proporcionadas pelo alto estado de degradação original do solo, resultando numa grande mortalidade de árvores, pois a densidade de plantio foi de 2.222 mudas/ha (redução de 77,4%).

A riqueza e a diversidade do estrato arbóreo estão relacionadas ao número de espécies plantadas, pois, foi observado o recrutamento de apenas oito indivíduos, de apenas três espécies oriundas da regeneração natural. Com relação à mortalidade e a redução da área basal, naquelas parcelas onde houve presença de clareiras causadas pelos menores crescimentos e densidades das árvores, ocorreu a invasão pelo capim gordura (*Melinis minutiflora*). Este fato pode comprometer o processo de recuperação desta área de empréstimo, caso não se faça um controle eficaz dessa invasora, pois, segundo NUNES et al. (2015) e KLIPPEL et al. (2015), na fase de estabelecimento e crescimento inicial do estabelecimento de florestas, as plantas invasoras como o capim gordura pode causar alta mortalidade e comprometer a recuperação de áreas degradadas, além de aumentar o risco de incêndios

CONCLUSÕES

O crescimento das espécies climáticas plantadas indica o avançado processo de sucessão florestal após 16 anos do plantio.

As espécies nativas da região plantadas onde houve a exploração de cascalho apresentam maior vigor quando comparadas às outras espécies, sendo indicadas para plantios de recuperação de áreas degradadas similares.

O crescimento em altura e diâmetro e a densidade do plantio foram influenciados negativamente pelo pH e pelo teor de silte e positivamente pelo teor de matéria orgânica e pela saturação de bases do substrato da área de exploração de cascalho.

A regeneração natural de *D. miscolobium*, *E. incanus* e *S. ferrugineus* encontrada no estrato arbóreo indica que estas espécies podem ser utilizadas para recuperação de áreas degradadas em condições semelhantes às do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. O. P. O.; SANCHEZ, L. E. Indicadores da Qualidade do Substrato para Monitoramento de Áreas de Mineração Revegetadas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 153-163, 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-

80872015000200153&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.072714>.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Recovery of soil physical properties by green manure, liming, gypsum and pasture and spontaneous native species. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1397-1406, 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000400034&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000400034>.

BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; PRADO, N. S.; FONSECA, E. M. B. **Implantação de mata ciliar**. Belo Horizonte: CEMIG/UFLA/FAEPE, 1995. 36 p. Boletim técnico.

BRAZ, V. S.; KANEGAE, M. F.; FRANCO, A. C. Estabelecimento e desenvolvimento de *Dalbergia miscolobium* Benth. em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Acta Bot. Bras.**, Feira de Santana, v.14, n.1, p. 27-35, Abr. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062000000100004&lng=en&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062000000100004>.

CHADA, S. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S.M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.801-809, Dez. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010067622004000600005&lng=en&nrm=iso>. acesso em 19 out. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000600005>.

FARIA, J. M. R.; DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. Comportamento de espécies florestais em área degradada com duas adubações de plantio. **Cerne** (UFLA), Lavras, MG, v. 3, n.1, p. 25-44, 1997. Impresso.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.** [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R. Estabelecimento de mata ciliar às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Ciência Florestal**, v. 19, p. 69-81, 2009. Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/421>>. doi: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098421>.

FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F. Procedimentos e Métodos de Amostragem da Vegetação. In: FELFILI J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. **Fitossociologia no Brasil**. Viçosa: Editora UFV, 2011. p. 86-121.

FREITAS, C. G. A.; ARONSON, J.; MORAES, L. F. D.; PALMER, M.; FILOSO, S. Restauração florestal: conceito e motivações. In: Brancalion, P. H. S.; Gandolfi, S.;

Rodrigues, R. R. (eds.). **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432p.

GONZALO, D. A. D.; GARCIA, R. J. F.; GOMES, E. P. C. Avaliação de área recuperada sobre cava de areia em São Paulo, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 695-701, 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2236-89062015000400695&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-15/RAD/2015>.

GOOGLE EARTH. **Satellite's Image Software**: versão 7.1.7.2606 2016. Disponível em <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 18 out. 2016.

HARDT, E.; PEREIRA-SILVA, E. F. L.; ZAIA, M. B.; LIMA, P. Plantios de restauração de matas ciliares em minerações de areia da Bacia do Rio Corumbataí: eficácia na recuperação da biodiversidade. **Scientia Forestalis**, n.70, pp.107-123, 2006. Disponível em <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr70/cap11.pdf>.

JESUS, E. N.; DOS SANTOS, T. S.; RIBEIRO, G. T.; ORGE, M. D. R.; AMORIM, V. O.; BATISTA, R. C. R. C. Regeneração Natural de Espécies Vegetais em Jazidas Revegetadas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 191-200, 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872016000200191&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.115914>.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; DA SILVA, G. F.; CALDEIRA, M. V W.; PIMENTA, L. R.; TOLEDO, J. V. Avaliação de métodos de restauração florestal de Mata de Tabuleiros-ES. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 69-79, 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622015000100007&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000100007>.

LEFEBVRE, I. D.; NASCIMENTO, A. T. Densidade e aspectos populacionais de *Dalbergia miscolobium* Benth. em um fragmento de cerrado sensu stricto, Uberlândia, Minas Gerais. **Iheringia. Série Botânica.**, v. 71, n. 1, p. 85-92, 2016. Disponível em <<https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/491/286>>. ISSN: 2446-8231.

MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CARVALHO, W. A. C.; SOUZA, J. S.; BORÉM, R. A. T.; BOTEZELLI, L. Análise comparativa da estrutura e flora do compartimento arbóreo-arbustivo de um remanescente florestal na Fazenda Beira Lago, Lavras, MG. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 499-516, Ago. 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000400005&lng=en&nrm=iso>. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000400005>.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 101-111, 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr73/cap10.pdf>>.

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente e sociedade**, v. 15, n. 3, p. 141-164, 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2012000300009&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300009>.

NÓBREGA, A. M. F.; VALERI, S. V.; DE PAULA, R. C.; DA SILVA, S. A.; RÊGO, N. H. Uso da fitossociologia na avaliação da efetividade da revegetação da várzea degradada do rio Mogi Guaçu, SP. **Scientia Forestalis**, n. 75, pp. 51-64, 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr75/cap05.pdf>>.

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. D.; MARTINS, C. D. S.; BERNARDES, C. D. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 2012-2031, 2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012a/ambientais/utilizacao%20de%20leguminosas.pdf>>

NUNES, Y. R. F.; FAGUNDES, N. C. A.; VELOSO, M. D. M.; GONZAGA, A. P. D.; DOMINGUES, E. B. S.; ALMEIDA, H. S.; CASTRO, G. C.; SANTOS, R. M. Sobrevivência e crescimento de sete espécies arbóreas nativas em uma área degradada de floresta estacional decidual, norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 801-810, 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622015000500801&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500003>.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; DOUGLAS A. C.; GAVILANES, M. L. Effects of soils and topography on the distribution of tree species in a tropical riverine forest in south-eastern Brasil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, n. 4, p. 483-508, 1994. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467400008178>.

PINYOPUSARERK, K., LIANG, S.B., GUNN, B.V. Taxonomy, distribution, biology, and use as an exotic. In: AWANG, K. TAYLOR, D. (ed.): **Acacia mangium**: Growing and Utilization. MPTS Monograph Series No. 3. Pp. 1–19. Winrock International and FAO, Bangkok 1993. 280p.

ROCHA, J. H. T.; SANTOS, A. J. M.; DIOGO, F. A.; BACES, C.; MELO, A. G. C.; BORELLI, K; GODINHO, T. O. Reflorestamento e recuperação de atributos químicos e físicos do solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 299-306, 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872015000300299&lng=pt&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.041613>.

SCOLFORO, J. R. S.; LOEUILLE, B. F. P.; ALTOÉ, T. F. Caracterização da candeia. In: **Manejo sustentável da candeia**: o caminhar de uma nova experiência em Minas Gerais. 1ª ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 329p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de regressão linear e não linear**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. Parte 1. 352p.

SOUZA, L. M.; FARIA, R. A. V. B.; BOTELHO, S. A.; FONTES, M. A. L.; FARIA, J. M. R. Potencial da regeneração natural como método de restauração do entorno de nascente perturbada. **CERNE**, Lavras, v.18, n.4, p.565-576, Dez. 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602012000400006&lng=en&nrm=iso>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000400006>.

STOLF, R. Teoria e tese experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n.3, p.229-235, 1991. Impresso.

STOLF, R.; FERNADES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto**: modelo IAA/PLANALSUCAR/STOLF. 1983. p.1-9. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim Técnico, 1).

VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; PAULA, A. M.; ANDRADE, J. B.; CARDOSO, E. J. B. N. Nitrogênio, carbono e compactação do solo como fatores limitantes do processo de recuperação de matas ciliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1164-1173, 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832013000500006&lng=pt&nrm=iso>. acesso em 02 ago. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500006>.