

RESÍDUOS ORGÂNICOS E FÓSFORO COMO CONDICIONANTES DE SOLO DEGRADADO E EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL DE *Dipteryx alata* Vog.

ORGANIC RESIDUE AND PHOSPHORUS AS CONDITIONERS OF DEGRADED SOIL AND EFFECTS ON THE INITIAL GROWTH OF *Dipteryx alata* Vog.

Keila da Silva Machado¹ Kátia Luciene Maltoni² Cinthia Montibeller Santos³ Ana Maria Rodrigues Cassiolato⁴

RESUMO

Na região Noroeste do Estado de São Paulo, foi estabelecida, em 1965, a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (CESP), que produziu extensas áreas degradadas, de onde foram retiradas as camadas superficiais do solo. Para o restabelecimento da vegetação, em áreas como estas, é necessária a adição de insumos químicos e matéria orgânica. Associando-se a presença na região de macrófitas à necessidade de recuperação de áreas degradadas e a disponibilidade de sementes de espécies nativas de cerrado, propôs-se o desenvolvimento deste trabalho, com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de resíduo orgânico e fósforo sobre material de solo degradado e sobre o crescimento inicial de *Dipteryx alata*, espécie arbórea de cerrado. O material de solo foi coletado em área degradada pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP). O experimento foi conduzido em dois ambientes, casa de vegetação e a pleno sol. Os tratamentos consistiram de quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 mg dm⁻³ de P₂O₅), com ou sem adição de macrófitas, produzindo 16 tratamentos com 10 repetições cada um. As macrófitas utilizadas, coletadas na Usina Hidrelétrica de Jupiá (MS), foram secas e passadas em picadeira, incorporadas ao material de solo e incubadas por 60 dias. As sementes de *Dipteryx alata*, coletadas nas proximidades da área, foram semeadas em areia lavada e após 60 dias introduzidas nos tratamentos. As plantas foram avaliadas mensalmente quanto à altura, ao diâmetro do caule e à clorofila foliar. Após 210 dias, as plantas foram coletadas e avaliadas para peso fresco e seco da parte aérea e do sistema radicular e o material de solo foi avaliado quanto à fertilidade e atividade microbiana pelo carbono do CO₂ liberado. A incorporação de resíduo orgânico ao material de solo degradado afetou positivamente a fertilidade deste e a atividade microbiana. As doses de fósforo aplicadas influenciaram o comportamento de Ca, SB, H+Al e CTC e, quando aplicadas na ausência de resíduo orgânico, promoveu incrementos significativos e lineares nos valores da acidez potencial, mostrando a importância da presença do resíduo orgânico. O crescimento inicial do *Dipteryx alata* foi favorecido pelo cultivo protegido, pela incorporação de resíduo orgânico e pela adição de fósforo ao solo. Pode-se concluir ainda que há boa perspectiva para deposição deste resíduo sobre o material de solo degradado, embora estudos em condições de campo sejam necessários.

Palavras-chave: revegetação; macrófitas; fertilidade do solo; microbiologia do solo.

ABSTRACT

In northwestern São Paulo State, it was established, in 1965, the hydroelectric station of Ilha Solteira

- 1 Bióloga, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira (SP), Brasil. keila28@gmail.com
- 2 Engenheira Agrimensora, Dr^a., Professora Assistente II do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira (SP), Brasil. maltoni@agr.feis.unesp.br
- 3 Bióloga, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Caixa Postal 6001, CEP 86051-990, Londrina (PR), Brasil.
- 4 Bióloga, Dr^a., Professora Assistente Doutora II do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira (SP), Brasil. anamaria@bio.feis.unesp.br

Recebido para publicação em 20/10/2011 e aceito em 4/04/2013

(CESP) that produced extensive degraded areas, from where it was removed the soil superficial layers. For the re-establishment of the vegetation, in areas like these, it is necessary the addition of chemical inputs and organic material. Associating the presence in the area of macrophytes, to the need of recovery of degraded areas and the availability of seeds from native species of Cerrado, it was intended the development of this work, with the objective of evaluating the addition effects of organic residue and phosphorus on the material of degraded soil and on the initial growth of *Dipteryx alata*, arboreal species of 'cerrado'. The soil material was collected in area of degraded soil by the construction of Ilha Solteira hydroelectric station. The experiment was conducted in two environmental conditions, greenhouse and plenty of sun. The treatments consisted of four phosphorus doses (0, 100, 200 and 300 mg dm⁻³ of P₂O₅), with or without macrophytes addition, with 16 treatments and 10 repetitions each one. The used macrophytes, collected at Jupia hydroelectric station, in Mato Grosso do Sul state, were dried, sliced, incorporated to the soil material and incubated during 60 days. The seeds of *Dipteryx alata*, collected around of the area, were sowed in washed sand and after 60 days introduced in the treatments. The plants were appraised monthly for height, stem diameter and leaves chlorophyll. After 210 days, the plants were collected and evaluated for fresh and dry weight of aerial part and radicular system and the soil material was evaluated for fertility and microbial activity by the carbon of liberated CO₂. The organic residue, incorporated to the material of soil degraded, positively affects the soil fertility and the soil microbial activity. The applied phosphorus doses influenced the behavior of Ca, SB, H+Al and CTC, when applied in the absence of organic residue, it promoted significant and linear increments for values of potential acidity, and indicated the organic residue importance. The initial growth of the *Dipteryx alata* was favored by the protected cultivation, for the incorporation of organic residue and for the phosphorus addition to the soil. At the end although the material of degraded soil comes as good perspective for disposal of this residue, studies about the field conditions are necessary.

Keywords: vegetation re-establishment; macrophyte; soil fertility; soil microbiology.

INTRODUÇÃO

O baixo nível de fósforo disponível no solo para as plantas é uma condição comum em solos tropicais. No caso do Cerrado brasileiro, o fósforo é o nutriente mais deficiente e, provavelmente, a limitação mais crítica para o crescimento de plantas nestes sistemas, pois os solos são bastante intemperizados (LOPES e GUILHERME, 1994).

A revegetação de áreas degradadas, com a introdução de espécies nativas, pode trazer vantagens, pois elas estão adaptadas às condições ambientais presentes e terão maior chance de sobrevivência quando as condições do solo não forem ideais. A replantação da vegetação, de acordo com Ruivo (1993), é muito importante, pois possibilita a produção de matéria orgânica, bem como a recuperação da comunidade microbiana do solo.

Área degradada é aquela que sofreu alteração de suas características originais, em decorrência de causas naturais ou oriundas de ação antrópica. Em algumas dessas áreas ocorre a eliminação dos meios bióticos, e estas passam a apresentar baixa resiliência (REICHMANN NETO, 1993; CRESTANA et al., 2006). Até a década de

50, o Cerrado brasileiro manteve-se inalterado, mas a partir de 1960, com a interiorização da capital brasileira e a abertura de uma nova rede rodoviária, largas áreas deram lugar à pecuária e à agricultura extensiva. Tais mudanças apoiaram-se, sobretudo, na implantação de novas infraestruturas viárias e energéticas, bem como na descoberta de novas vocações desses solos regionais, permitindo novas atividades agrárias rentáveis, em detrimento de uma biodiversidade até então pouco alterada (VASCONCELOS e SANTOS, 2003).

Na região noroeste do Estado de São Paulo, foi estabelecida, em 1965, a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (CESP), produzindo extensas áreas degradadas, de onde foram retirados os horizontes superficiais do solo, o que resultou em insignificante regeneração natural ao longo do tempo.

Para o estabelecimento de plantas em solos degradados é necessária a utilização de insumos químicos e orgânicos (LEITE et al., 1994). Considerando os trabalhos de recuperação em áreas onde os horizontes superficiais do solo foram removidos, a necessidade de adição de matéria orgânica é ainda maior, portanto, é necessário buscar alternativas para introdução de insumos orgânicos que melhorem as condições mencionadas.

As macrófitas aquáticas têm atraído o interesse de diversos pesquisadores, devido à sua capacidade de retenção de nutrientes (MORAES, 1999). Estas têm se transformado num problema em reservatórios, pois comprometem a capacidade de geração de energia (VELINI, 1998) precisando de remoção e deposição, podendo, neste caso, serem utilizadas como fonte de material orgânico para áreas de solos intensamente degradados (SCHIAVETO et al., 2004).

Sensíveis às alterações que ocorrem no ambiente, os microrganismos têm sido usados como indicadores de alterações no solo (SIQUEIRA et al., 1994), embora nenhum parâmetro microbiológico seja adequado a todas as situações, devido à natureza dinâmica e complexa dos ecossistemas (DICK, 1992). A medição da respiração microbiana pela quantificação do carbono de CO_2 (C-CO_2) liberado é um procedimento importante para avaliar a atividade dos microrganismos do solo, pois a decomposição dos resíduos orgânicos é envolvida por reações microbianas de oxidação, onde os microrganismos obtêm o carbono e energia pela transformação de compostos orgânicos complexos em substratos mais simples (CAMPBELL et al., 1992).

No Cerrado, várias espécies vegetais de múltiplo uso estão sendo valorizadas comercialmente, o baru (*Dipteryx alata* Vog.) é uma delas. Pertencente à família Fabaceae é uma espécie típica do Cerrado, apresenta potencial econômico para fins alimentícios, forrageiros, oléicos, madeireiros e paisagísticos, podendo ser empregado em recuperação de áreas degradadas e plantio de enriquecimento de pastagens (SANO et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2006).

Associando-se a presença na região de macrófitas aquáticas, a necessidade de recuperação de áreas degradadas e a disponibilidade de sementes de espécies nativas é que se propôs desenvolver o presente trabalho, com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de resíduo orgânico (macrófitas aquáticas) e fósforo sobre material de solo degradado e sobre o crescimento inicial de *Dipteryx alata*.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi conduzido na Faculdade de Engenharia – UNESP/Campus de Ilha Solteira. O material de solo foi coletado em área degradada pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP), de onde foram removidas as camadas superficiais do solo. Este material apresenta baixa

disponibilidade de nutrientes ($\text{pH CaCl}_2 = 4,5$; fósforo resina (mg dm^{-3}) = 3; matéria orgânica ($\text{MO (g dm}^{-3}\text{)}) = 10$; potássio ($\text{K}^+ (\text{mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 0,4$; cálcio ($\text{Ca}^{2+} (\text{mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 1$; magnésio ($\text{Mg}^{2+} (\text{mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 1$; acidez potencial ($\text{H+Al (mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 26$; alumínio ($\text{Al}^{3+} (\text{mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 6$; soma de bases ($\text{SB (mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 2,4$; capacidade de troca catiônica ($\text{CTC (mm}_c \text{ dm}^{-3}) = 28,4$; saturação por bases ($\text{V (\%)} = 9$, foi coletado na profundidade de 0 a 0,20 m, peneirado (malha de 4 mm) e acondicionado em sacos plásticos (capacidade 3 L). Recebeu, como condicionante orgânico, o equivalente a 32 t ha^{-1} de macrófitas aquáticas e diferentes doses de fósforo.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$. O experimento foi conduzido em dois ambientes, casa de vegetação (30% de sombreamento) e a pleno sol. Os tratamentos consistiram de quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 mg dm^{-3} de P_2O_5), com e sem adição de macrófitas aquáticas, produzindo 16 tratamentos com 10 repetições, totalizando 160 unidades experimentais.

As macrófitas utilizadas foram doadas pela Usina Hidrelétrica de Jupiá (MS), de onde foram removidas da água para evitar perdas no processo de geração de energia elétrica. Estas foram secas, passadas em picadeira (aproximadamente 5 mm.) para aumentar sua superfície específica, incorporadas ao material de solo e incubadas por 60 dias. As macrófitas incorporadas ao material de solo, após caracterização realizada em acordo com Malavolta et al. (1989), mostraram: 291g kg^{-1} de MO, 49 mg kg^{-1} de K^+ , 26 mg kg^{-1} de Ca^{2+} , 11 mg kg^{-1} de Mg^{2+} e 10 g kg^{-1} de nitrogênio (N). O fósforo foi incorporado ao solo na forma de superfosfato triplo ($\text{Ca (H}_2\text{PO}_4)_2$), ao mesmo tempo que as macrófitas.

As sementes de *Dipteryx alata* passaram por tratamento de pré-germinação para ruptura mecânica do endocarpo, com imersão em HCl 0,1%, por um minuto e lavagem em água destilada. Em casa de vegetação foram semeadas em areia lavada, onde permaneceram por 60 dias, até o transplantio. As mudas foram irrigadas com água deionizada, durante o período experimental, que teve oito meses de duração, período no qual as plantas foram mensalmente avaliadas para altura (com trena), diâmetro do caule (com paquímetro digital), clorofila (medidas indiretas, realizadas com clorofilômetro Falker), e ao final do experimento foram coletadas e avaliadas para peso fresco e seco da parte aérea e do sistema radicular, que foi separado

do solo manualmente, com auxílio de peneira, cujo peso seco foi determinado após obtenção de peso constante em estufa a 60°C (CARNEIRO, 1995).

Após realização da coleta das plantas e das raízes, o substrato foi amostrado e enviado para análise da fertilidade, de acordo com Raij e Quaggio (1983), e para a quantificação do carbono do CO₂ (C-CO₂) liberado, segundo metodologia proposta por Anderson e Domsch (1982). Para tal quantificação, utilizaram-se 100 g do solo, inicialmente peneirado, por unidade experimental. A umidade do solo foi corrigida até 70% da capacidade de campo e, no centro de cada jarro foi depositado um frasco contendo 10 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, antes de serem fechados hermeticamente. O tempo de incubação foi determinado por meio da curva de calibração, resultante de um monitoramento em dias alternados.

Os dados foram analisados estatisticamente por comparação de médias entre os tratamentos, com desdobramento nas interações significativas. O teste de Tukey foi empregado após a análise de variância e a análise de correlação foi feita para todos os parâmetros. Para tanto, utilizaram-se os programas estatísticos SISVAR (FERREIRA, 2000) e SAS (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados de fertilidade do solo (Tabela 1) verificam-se resultados promissores para recuperação química dos solos degradados nos tratamentos conduzidos na presença de resíduos orgânicos. O cultivo protegido das mudas mostrou ser, neste caso, vantajoso para Mg, que ocorre em quantidades medianas. Nestas condições de cultivo não existe lixiviação pela água da chuva, com consequente elevação da SB. Na presença de resíduos orgânicos observa-se maior disponibilidade de P, Ca e Mg, consequentemente, maior SB, além de redução da H+Al, incrementos em MO, CTC e pH, efeitos corroborados por vários autores quando da adição de matéria orgânica ao solo (CANELLAS et al., 2003; CIOTTA et al., 2003; MOREIRA, 2004). Calgaro et al. (2008b), utilizando como matéria orgânica aguapé e bagaço de cana-de-açúcar, em área de cerrado degradado com exposição de subsolo, para o cultivo de *Stryphnodendron polyphyllum* Mart., observaram sensível aumento nos valores de P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, CTC e V e redução nos teores de MO, (H+Al) e Al³⁺, em comparação com os valores da caracterização inicial da área.

As doses de P aplicadas influenciaram o comportamento de P, Ca²⁺, SB, H+Al e CTC (Tabela 1 e Figuras 1 e 2), variáveis com respostas lineares e crescentes, em função das doses de P, que foi disponibilizado na forma de superfosfato triplo, justificando os incrementos observados para Ca e, indiretamente, para SB e CTC, cujo incremento é ainda corroborado pelos valores elevados de H+Al, provavelmente devido ao conjunto adição de material orgânico e extração de bases pela planta indicadora.

A aplicação de diferentes doses de superfosfato triplo, na ausência de resíduo orgânico, promoveu incrementos significativos e lineares nos valores da acidez potencial (Tabela 2). Na presença do resíduo orgânico o comportamento foi semelhante, no entanto, com valores estatisticamente mais baixos, indicando a contribuição dos componentes orgânicos na redução da acidez potencial. Resultados semelhantes foram obtidos por Alcantara et al. (2007).

A acidez potencial refere-se à parte não dissociada do H⁺. O que provoca essa acidez, segundo Osaki (1991), são os íons H⁺ e Al³⁺ adsorvidos nas cargas negativas dos colóides. No caso em estudo o pH do solo encontra-se com valores superiores a 5,2, valores que colocam o Al³⁺ em indisponibilidade (ALMEIDA et al., 1999). Estando, neste caso, a acidez potencial diretamente relacionada aos íons H⁺, o que pode justificar o incremento na acidez potencial ao adicionar Ca(H₂PO₄) ao solo, pois ocorre liberação de H₂ do fosfato.

O desdobramento da interação local de cultivo x doses de P, embora significativo, não traz nenhuma informação relevante (Tabela 3). Nota-se que a aplicação de macrófitas ao solo trouxe benefícios às condições de fertilidade deste, principalmente por se tratar de um solo degradado, que precisa ser recuperado, apontando para a incorporação de macrófitas como benéfica para melhorar as condições do solo. Barbosa (2008) também verificou que a incorporação de macrófitas aquáticas melhora a fertilidade dos solos e permite o crescimento de grande variedade de dicotiledôneas, como *Solanum mauritianum* (fumo-bravo), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Schinus terebinthifolia* (aroeirinha).

Para as variáveis da planta, altura, diâmetro do coleto, peso fresco e seco da parte aérea e do sistema radicular, nota-se que os maiores valores foram encontrados em cultivo protegido e com adição de resíduos orgânicos (Tabela 4).

TABELA 1: Médias de fósforo (P-resina), matéria orgânica (MO), potencial de hidrogênio (pH), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al^{3+}), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), probabilidade de F e coeficiente de variação (CV), para o material de solo, em função de resíduo orgânico, locais de cultivo e doses de fósforo aplicadas.

TABLE 1: Averages of phosphorus (P-resin), organic matter (MO), potential of hydrogen (pH), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), potential acidity (H+Al), aluminum (Al^{3+}), sum of bases (SB), cationic exchange capacity (CTC), F probability and coefficient of variation (CV), for the soil material, under applied organic residue, cultivation places and different phosphorus levels.

Fontes de variação	P-resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	Al^{3+}	SB	CTC
mmol _c dm ⁻³										
Resíduo orgânico (RO)										
Sem RO	49,79	9,25B	5,79B	0,0	8,04B	5,50B	14,83B	0,0	14,54B	29,38B
Com RO	53,92	11,92A	6,00A	0,0	16,04A	6,67A	13,25A	0,0	23,71A	36,96 ^a
Local de cultivo (LC)										
Pleno Sol	50,46	10,83	5,92	0,96	11,6	5,6B	14,42B	0,0	18,21B	32,63
Protegido	53,25	10,33	5,88	1,04	12,5	6,5A	13,70A	0,0	20,04A	33,71
Probabilidade de F										
LC	1,835 ^{ns}	3,200 ^{ns}	0,250 ^{ns}	2,000 ^{ns}	2,500 ^{ns}	20,167 ^{**}	15,429 ^{**}	0,0	7,934 ^{**}	2,630 [*]
RO	4,007 ^{ns}	91,022 ^{**}	6,250 [*]	0,000 ^{ns}	230,400 ^{**}	32,667 ^{**}	68,762 ^{**}	0,0	198,361 ^{**}	128,887 ^{**}
DP	421,317 ^{**}	2,430 ^{ns}	1,583 ^{ns}	1,333 ^{ns}	9,375 ^{**}	1,667 ^{ns}	30,032 ^{**}	0,0	4,913 ^{**}	13,271 ^{**}
LCxRO	0,344 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,250 ^{ns}	2,000 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,167 ^{ns}	1,714 [*]	0,0	0,016 ^{ns}	0,062 ^{ns}
LCxDP	0,591 ^{ns}	3,733 [*]	0,917 ^{ns}	0,667 ^{ns}	0,517 ^{ns}	0,944 ^{ns}	1,587 ^{ns}	0,0	0,109 ^{ns}	0,026 ^{ns}
ROxDP	1,149 ^{ns}	0,415 ^{ns}	1,583 ^{ns}	1,333 ^{ns}	0,450 ^{ns}	0,333 ^{ns}	3,873 [*]	0,0	0,240 ^{ns}	0,565 ^{ns}
LCxROxDP	0,373 ^{ns}	0,296 ^{ns}	0,917 ^{ns}	0,667 ^{ns}	0,542 ^{ns}	0,500 ^{ns}	4,381 [*]	0,0	0,760 ^{ns}	1,505 [*]
CV (%)	14	9,15	5	20,41	15,16	12	5	0,0	12	7

Em que: Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, por fonte de variação, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} = valores não significativos; ^{**} e ^{*} = valores significativos para $P \leq 0,01$ e $\leq 0,05$, respectivamente. Em que: DP = doses de Fósforo.

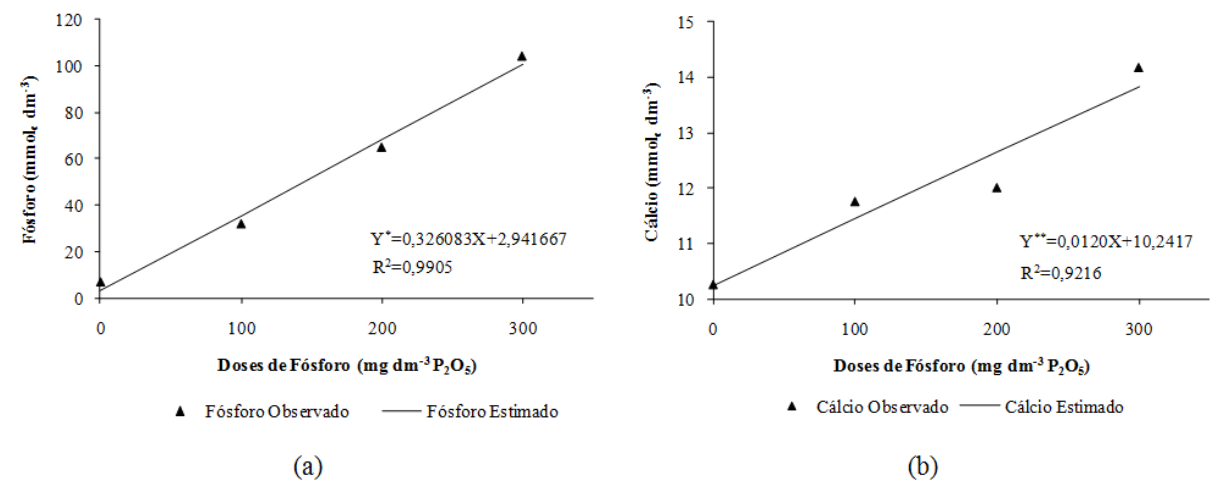


FIGURA 1: Equações de regressão ajustadas para fósforo (a) e cálcio (b), para o material de solo, em função das diferentes doses de fósforo aplicadas.

FIGURE 1: Regression equations adjusted to phosphorous (a) and calcium (b), for the soil material, as a function of different phosphorus levels applied.

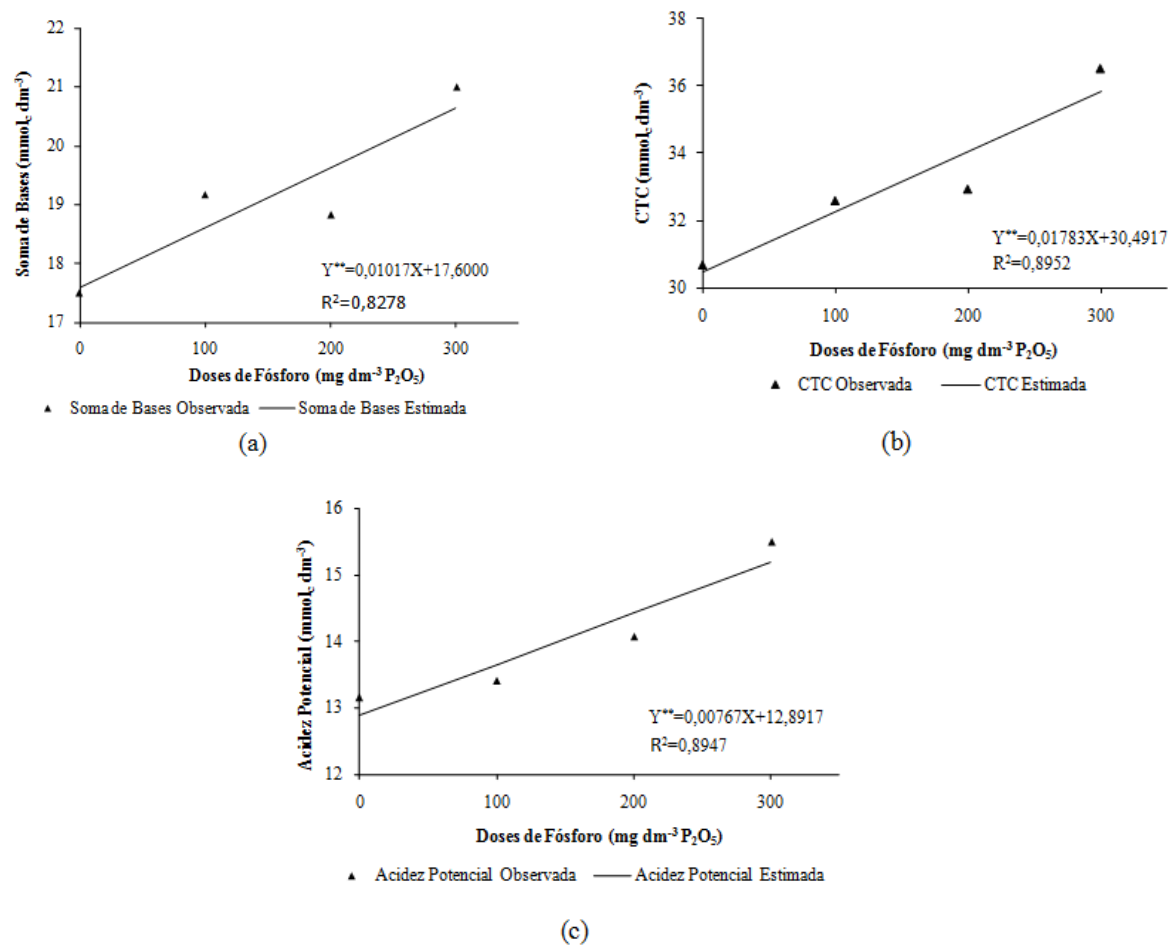


FIGURA 2: Equações de regressão ajustadas para soma de bases (a), capacidade de troca catiônica – CTC (b), acidez potencial (c) para o material de solo, em função das diferentes doses de fósforo aplicadas.

FIGURE 2: Regression equations adjusted to sum of bases (a), cationic exchange capacity-CTC (b), potential acidity (c) for the soil material, as a function of different phosphorus levels applied.

TABELA 2: Desdobramento da interação entre resíduo orgânico (RO) e doses de fósforo (P) aplicadas, para acidez potencial ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$).TABLE 2: Interaction between organic residue (RO) and phosphorus (P) levels applied, to potential acidity ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Fontes de Variação	Doses de P (mg dm^{-3} de P_2O_5)				Equações de Regressão	R^2
	0	100	200	300		
Sem RO	14,50B	14,00B	14,83B	16,00B	$Y^{**} = 0,00533x + 14,0333$	0,6564
Com RO	11,83A	12,83A	13,33A	15,00A	$Y^{**} = 0,01000x + 11,7500$	0,9524

Em que: Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, por dose de fósforo (P), não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. R^2 = significativo a $P < 0,05$; ** = valores significativos para $P \leq 0,01$. Sem RO: sem resíduo orgânico; Com RO: com resíduo orgânico.

TABELA 3: Desdobramento da interação entre locais de cultivo e doses de fósforo (P), para matéria orgânica (g dm^{-3}).TABLE 3: Interaction between places of cultivation and levels of phosphorus (P) applied, to organic matter (g dm^{-3}).

Fontes de Variação	Doses de P (mg dm^{-3} de P_2O_5)				Equações de Regressão	R^2
	0	100	200	300		
Pleno Sol	10,33	10,17 B	9,50	10,67	$Y^* = 0,00005x^2 - 0,01667x + 11,08333$	0,3240
Protegido	10,80	11,67 A	10,50	11,17	ns	

Em que: Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, por doses de fósforo (P), não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = valores não significativos; * = valores significativos para $P < 0,05$; R^2 = significativo a $P < 0,01$.

O resíduo orgânico, além de melhorar as condições de fertilidade do solo, influenciou positivamente o crescimento das mudas de *Dipteryx alata*, com a contribuição do sombreamento, neste caso de 30%. No entanto, Bassini (2008), em trabalho com *Dipteryx alata* observou maior altura de planta com 50% de sombreamento, o que permite inferir, para o presente trabalho, que, se o sombreamento tivesse sido maior, os resultados para o crescimento das mudas poderiam ter sido ainda melhores.

As medidas indiretas tomadas para clorofila apresentaram resposta apenas à aplicação de resíduo orgânico, não apresentando nenhum outro resultado significativo para as variáveis testadas (Tabela 4). As doses de P aplicadas ao solo (Tabela 4 e Figura 3) produziram efeitos sobre altura e diâmetro do coleto das mudas de *Dipteryx alata*, resultados corroborados por Flores-Aylas et al. (2003) em estudos com espécies arbóreas nativas, *Senna macranthera* (Collad) Irwin et Barneby (fedegoso), *Guazuma ulmifolia* Lamark (mutamba), *Senna multijuga* Rich. (cássia-verrugosa), *Solanum granuloso-leprosum* Dunal (gravitinga), *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira) e *Trema micrantha*

(L.) Blume (trema) e aplicação de superfosfato triplo.

Em sistema sombreado, as mudas cultivadas apresentaram maiores valores para peso fresco e seco da parte aérea e peso seco do sistema radicular, tanto na presença como na ausência de resíduo orgânico (Tabela 5), com destaque para a presença do resíduo orgânico, que produziu incrementos de até 60% no peso seco da parte aérea, em relação à ausência do mesmo (4,10 g para 6,58g). As mudas cultivadas a pleno sol, exibiram efeitos significativos da adição de resíduo orgânico apenas para o peso fresco da parte aérea, com incremento da ordem de 25%. No cultivo protegido, esta mesma variável apresentou incremento da ordem de 65%, indicando ser este o melhor sistema para produção de mudas de *Dipteryx alata*.

As doses de P aplicadas apresentaram efeitos significativos, com comportamento linear e crescente para altura, diâmetro do coleto (Figura 3), peso fresco e seco da parte aérea, quando em cultivo protegido (Tabela 6). Quando as doses crescentes de P foram aplicadas na presença de resíduo orgânico, não foram detectados efeitos significativos para

TABELA 4: Médias de altura (ALT), diâmetro do coleto (DC), teor de clorofila foliar (CLOR), peso fresco (PFPA) e seco (PSPA) da parte aérea, peso fresco (PFR) e seco (PSR) do sistema radicular, carbono de CO₂ (CCO₂) liberado (µg CO₂ g solo seco dia⁻¹), probabilidade de F e coeficiente de variação (CV), para o crescimento inicial de *Dipteryx alata*, em função de resíduos orgânicos, locais de cultivo e doses de fósforo aplicadas.

TABLE 4: Averages of height (ALT), stem diameter (DC), leaf chlorophyll content (CLOR); weight fresh (PFPA) and dry (PSPA) of aerial part and weight fresh (PFR) and dry (PSR) of root system, Carbon of CO₂ liberated (CCO₂) (µg CO₂ g dry soil day⁻¹), F probability and coefficient of variation (CV), to initial grows of *Dipteryx alata*, under applied organic residue, places of cultivation and different phosphorus levels.

Fontes de variação	ALT (cm)	DC (mm)	CLOR (mg cm ⁻²)	PFPA -----	PSPA (g) -----	PFR -----	PSR -----	C-CO ₂ µg CO ₂ /g solo seco dia ⁻¹
Resíduo orgânico (RO)								
Sem RO	15,11B	6,43B	26,11B	5,78B	3,24B	13,46B	6,70B	9,10B
Com RO	16,40A	6,90A	28,20A	8,71A	4,74A	15,19A	7,66A	10,68A
Local de cultivo (LC)								
Pleno Sol	13,95B	6,03B	26,40	4,74B	2,64B	11,83B	5,93B	9,89
Protegido	17,56A	7,30A	27,91	9,75A	5,34A	16,83A	8,44A	9,90
Probabilidade de F								
LC	121,534**	93,078**	2,949 ^{ns}	184,287**	172,092**	57,725**	53,559**	0,00 ^{ns}
RO	15,438**	12,918**	5,618*	63,291**	53,115**	6,871**	7,860**	39,80**
DP	4,895**	3,495**	2,343 ^{ns}	2,302 ^{ns}	2,100 ^{ns}	2,335 ^{ns}	1,285 ^{ns}	0,28 ^{ns}
LCxRO	1,783 ^{ns}	1,753 ^{ns}	1,133 ^{ns}	25,444**	22,441**	2,426 ^{ns}	7,065**	1,02 ^{ns}
LCxDP	5,065**	4,879**	2,423 ^{ns}	4,888**	5,292**	1,785 ^{ns}	1,366 ^{ns}	0,16 ^{ns}
ROxDP	2,590 ^{ns}	1,491 ^{ns}	0,208 ^{ns}	5,435**	5,056**	3,735*	3,738*	0,55 ^{ns}
LCxROxDP	1,189 ^{ns}	0,584 ^{ns}	1,002 ^{ns}	4,200**	3,359*	4,603**	2,236 ^{ns}	0,88 ^{ns}
CV (%)	13,2	13	21	32,2	32,6	29	30,2	11,4

Em que: Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, por fonte de variação, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} = valores não significativos; ** e * = valores significativos para P ≤ 0,01 e ≤ 0,05, respectivamente. DP = doses de Fósforo.

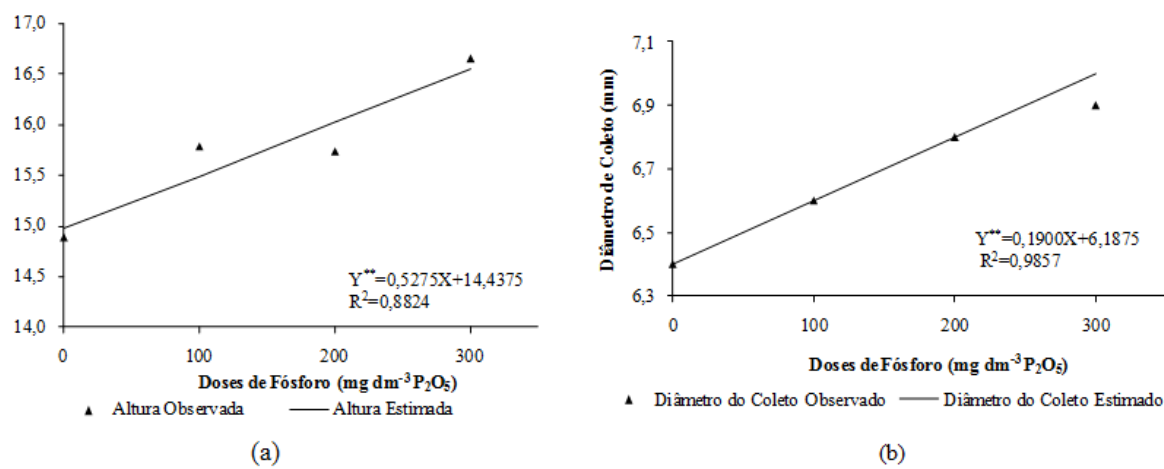


FIGURA 3: Altura (a) e diâmetro do coleto (b) de *Dipteryx alata*, em resposta às diferentes doses de fósforo aplicadas.

FIGURE 3: Height (a) and stem diameter (b) of *Dipteryx alata*, in response to applied phosphorus levels.

TABELA 5: Desdobramento da interação entre locais de cultivo e resíduo orgânico (RO) para peso fresco (PFPA) e seco (PSPA) da parte aérea e peso seco da raiz (PSR), de *Dipteryx alata*.TABLE 5: Interaction between places of cultivation and organic residue (RO) applied to fresh weight (PFPA) and dry weight (PSPA) of aerial part and weight dry (PSR) of root system from *Dipteryx alata*.

Fontes de Variação	Local de cultivo	
	Protegido	Pleno sol
	PFPA (g)	
Sem RO ¹	7,35Ba	4,20Bb
Com RO	12,15Aa	5,28Ab
	PSPA (g)	
Sem RO	4,10Ba	2,36Ab
Com RO	6,58Aa	2,98Ab
	PSR (g)	
Sem RO	7,50Ba	5,90Ab
Com RO	9,38Aa	5,95Ab

Em que: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas, e minúsculas na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Sem RO: sem resíduo orgânico; Com RO: com resíduo orgânico.

TABELA 6: Desdobramento da interação entre locais de cultivo x doses de fósforo (P) aplicadas, para altura (cm), Diâmetro do coleto (mm), peso fresco (PFPA) e seco (PSPA) da parte aérea de *Dipteryx alata*.TABLE 6: Interaction between places of cultivation and applied phosphorus (P) levels to height (cm), stem diameter (mm), fresh weight (PFPA) and dry weight (PSPA) of aerial part from *Dipteryx alata*.

Fontes de Variação	Doses de P (mg dm ⁻³ de P ₂ O ₅)				Equações de Regressão	R ²
	0	100	200	300		
	Altura (cm)					
Pleno Sol	13,70B	14,60B	13,15B	14,35B	ns	-
Protegido	16,05A	16,95A	18,30A	18,95A	Y= 15,05** + 1,005x** t= 25,995 4,7754	0,9841
	Diâmetro do Coleto (mm)					
Pleno Sol	5,95B	6,20B	5,95B	6,00B	ns	-
Protegido	6,80A	6,90	7,65A	7,85A	Y= 6,325** + 0,390x** t= 27,543 4,651	0,9108
	PFPA (g)					
Pleno Sol	4,70B	5,60B	4,20B	4,45B	ns	-
Protegido	8,95A	8,95A	9,50A	11,60A	Y= 7,625** + 0,85x** t= 11,767 3,592	0,7581
	PSPA (g)					
Pleno Sol	2,65B	3,05B	2,40B	2,45B	ns	-
Protegido	4,90A	4,80A	5,25A	6,40A	Y= 4,10** + 0,495x** t= 11,374 3,761	0,7577

Em que: Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo; R² = significativo a 5%; ** significativo para t a 1% de probabilidade; t = valores de t.

TABELA 7: Desdobramento da interação entre resíduo orgânico (RO) e doses de fósforo (P) aplicadas, para peso fresco (PFPA) e seco (PSPA) da parte aérea (PFPA), peso fresco (PFR) e seco (PSR) da raiz de *Dipteryx alata*.

TABLE 7: Interaction between organic residue (RO) and applied phosphorus levels (P) to weight fresh (PFPA) and dry (PSPA) of aerial part, fresh weight (PFR) and dry weight (PSR) root system from *Dipteryx alata*.

Fontes de Variação	Doses de P (mg dm ⁻³ de P ₂ O ₅)				Equações de Regressão	R ²
	0	100	200	300		
PFPA (g)						
Sem RO	4,20B	5,65B	6,05B	7,20B	Y= 3,43** + 0,94x** t= 5,285 3,973	0,9599
Com RO	9,45A	8,90A	7,65A	8,85A	ns	-
PSPA (g)						
Sem RO	2,40B	3,10B	3,40B	4,05B	Y= 1,925** +0,525x** t= 5,340 3,989	0,9796
Com RO	5,15A	4,75A	4,25A	4,80A	ns	-
PFR (g)						
Sem RO	11,00B	13,65	13,35	15,85	Y= 9,900** +1,425x** t= 8,470 3,339	0,8596
Com RO	16,50A	14,30	14,15	15,80	ns	-
PSR (g)						
Sem RO	5,35B	7,15A	6,80A	7,90A	Y= 5,175** +0,610x** t= 8,546 2,759	0,6955
Com RO	8,30A	7,35A	7,10A	7,50A	ns	-

Em que: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. ns = não significativo; R² = significativo a 5%; ** significativo para t a 1% de probabilidade; t = valores de t. Sem RO: sem resíduo orgânico; Com RO: com resíduo orgânico.

peso fresco e seco da parte aérea e do sistema radicular (Tabela 7), embora tenham influenciado positivamente estas variáveis, as quais mostraram os maiores valores na presença de resíduo orgânico, para todas as doses de P aplicadas. Na ausência de resíduo orgânico, embora com valores menores, estas variáveis responderam à aplicação das doses crescentes de P.

A adição de resíduos orgânicos adicionados ao material de solo também provocaram alterações na comunidade microbiana, com incrementos na respiração microbiana (Tabela 4), o que se mostra positivo, indicando que o resíduo orgânico não interferiu negativamente na microbiota do solo. No entanto, a mesma não foi influenciada pela adubação fosfatada e nem pelo sistema de cultivo (pleno sol e protegido), mais uma vez evidenciando a importância da presença de material orgânico para garantir qualidade aos solos.

Resultados coincidentes aos do presente trabalho, também em material de solo, foram

relatados por Calgaro et al. (2008a) que, estudando o efeito de suplementos químicos e orgânicos para o cultivo de *Stryphnodendron polyphyllum*, observaram as mais altas taxas de atividade respiratória no tratamento com adição de fósforo, nitrogênio e macrófita aquática (aguapé). De um modo geral, os microrganismos apresentam estreita relação com o conteúdo de matéria orgânica e, consequentemente, à atividade respiratória no solo (GAMA-RODRIGUES et al., 1997). A adição do resíduo orgânico (Tabela 1) proporciona um incremento de MO ao material de solo, influenciando diretamente o crescimento microbiano.

Sensíveis às modificações do solo, os microrganismos mostraram-se adequados como indicadores biológicos.

Destaca-se que a utilização de macrófitas aquáticas como fonte de matéria orgânica para o solo apresentou resultados positivos, em condições de casa de vegetação, uma vez que melhorou as condições do solo degradado, não comprometeu

o crescimento inicial do *Dipteryx alata* e não interferiu negativamente na microbiota do solo. Apresentando-se o solo como perspectiva para depósito deste resíduo, embora estudos em condições de campo sejam necessários.

CONCLUSÕES

A incorporação de resíduo orgânico ao material de solo degradado afetou positivamente a fertilidade e a atividade microbiana.

As doses de fósforo aplicadas influenciaram o comportamento de Ca^{2+} , SB, H^+Al e CTC e, quando aplicadas na ausência de resíduo orgânico, promoveu incrementos significativos e lineares nos valores da acidez potencial.

O crescimento inicial do *Dipteryx alata* foi favorecido pelo cultivo protegido e pela incorporação de resíduo orgânico e fósforo ao solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, E. N. et al. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e componentes da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, dez. 2007.
- ALMEIDA, J. A. et al. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 651-656, fev., 1999
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 471-479, 1982.
- BARBOSA, L. M. SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Moji-Guaçu, 2008. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica, 2008.
- BASSINI, F. **Caracterização de populações de barueiros (*Dipteryx alata* Vog. – Fabaceae) em ambientes naturais e explorados**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008
- CALGARO, H. F. et al. Resíduos orgânicos como recondicionante de subsolo degradado e efeito na atividade microbiana e fertilidade, em cultivo de barbatimão. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1069-1079, dez 2008.
- CALGARO, H. F. et al. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1337-1347, mai/jun. 2008b.
- CAMPBELL, C. A. et al. Effect of crop rotations on microbial biomass, specific respiratory activity and mineralizable nitrogen in a Black Chernozemic soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 72, p. 417-427, Nov., 1992.
- CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.935-944, set/out., 2003.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e Controle de Qualidade de Mudanças Florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF. 1995. p.57 - 92.
- CIOTTA, M. N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n.6, p.1161-1164, nov/dez., 2003.
- CRESTANA, M. S. M. et al. Espécies arbóreas nativas do Estado de São Paulo recomendadas para reflorestamentos. In: CRESTANA, M. S. M. et al. **Florestas: Sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação**. São Paulo, Imprensa oficial, 2006. p. 49-84.
- DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. **Agricultural Ecosystems Environmental**, Amsterdam, v. 40, p. 25-36, May, 1992.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.
- FLORES-AYLAS, W. W. et al. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.2, p. 257-266, Feb. 2003.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. et al. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 361-365, jul/set 1997.
- LEITE, L. L. et al. Efeitos da descompactação e da adubação do solo na revegetação espontânea de uma cascalheira no Parque Nacional de Brasília. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO

- NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: UFPR/Fundação de Pesquisa Florestal do Paraná, 1994. p. 527-534.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. A. G. **Solos sob cerrado**: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo: ANDA, 1994. v. 2. p. 7-56.
- MALAVOLTA, E. et al. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichornia crassipes*). **Anais da ESALQ-USP**, Piracicaba, v. 46 (parte 1), p. 155-162, 1989.
- MORAES, A. R. **Estimativa de estoque de elementos químicos em macrófitas aquáticas do reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. 1999. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, poços de Caldas-MG**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- OLIVEIRA, A. N. et al. Variações genéticas para características do sistema radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 6, p. 905-909, nov/dez. 2006
- OSAKI, F. **Calagem e adubação**. 2. ed. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991.
- RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 81).
- REICHMANN NETO, F. Recuperação de áreas degradadas na Região Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba, 1993. **Anais...** Curitiba, SBS/SBEF, 1993. p. 102-107.
- RUIVO, M. L. P. Recuperação de áreas de mineração: uma experiência bem sucedida na Amazônia. In: FERREIRA, E. J. G.; SANTOS, G. M.; LEÃO, E. I. M.; OLIVEIRA, I. A. (Eds.). **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia**. Manaus: INPA, p.383-404, 1993.
- SANO, S. M. et al. **Baru**: biologia e uso. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2004. 52 p. (Série: Documento, nº 116)
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE-SAS/STAT. Procedure guide personal computers. 9th ed. Cary: NC. Inst, 1999. 334 p.
- SCHIAVETO, A. R. et al. Utilização de aguapé como fonte de matéria orgânica para espécies de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UESC/SBCS/SBM, 2004. 4 p.
- SIQUEIRA, J. O. et al. **Microrganismos e processos biológicos do solo**: perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142 p.
- VASCONCELOS, V. F.; SANTOS, R. J. A. Chegada do projeto Prodecet-I em Irai de Minas e os migrantes. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 2., 2003, Uberlândia. **Anais... Perspectiva para o Cerrado no século XXI**. Local: UFU, 2003. 15 p. Disponível em: <<http://www.ig.ufub.br/2srg/1/1-121A.pdf>>. Acessado em 06 fev. 2010.
- VELINI, E. D. Controle mecânico de plantas aquáticas no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS. 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: IBAMA, 1998. p. 32-35.