

Biossólido no estabelecimento de espécies herbáceas e nos atributos químicos e microbiológicos em solo impactado pela mineração de carvão

Biosolids in the establishment of herbaceous species and in chemical and microbiological attributes in soil impacted by coal mining

Natália Caron Kitamura^{1*} , Cledimar Rogério Lourenzi¹ , Alcenir Claudio Bueno¹ , Antonio Lourenço Pinto¹ , Cláudio Roberto Fonseca Sousa Soares¹ , Admir José Giachini¹ 

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes concentrações de biossólido de lodo de esgoto, submetido a tratamento térmico, no estabelecimento de espécies herbáceas (aveia preta, ervilhaca e azevém) e nos atributos químicos e microbiológicos de um solo degradado pela mineração de carvão. O experimento foi instalado em área degradada pela mineração de carvão, localizada no município de Treviso (SC), sendo os tratamentos compostos pelas concentrações de 0, 6,25, 100, 250 e 500 Mg ha⁻¹ de biossólido, em parcelas de 2x2 m. Foram cultivadas espécies de aveia preta, ervilhaca e azevém de maneira consorciada, avaliando-se os parâmetros das plantas e os atributos químicos do solo nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. O biossólido proporcionou a elevação do pH do solo e o aumento dos teores disponíveis de P, K e carbono orgânico total e não influenciou na colonização micorrízica, na respiração basal do solo e na nodulação radicular. O uso do resíduo biossólido como substrato em áreas degradadas é uma alternativa para sua disposição final pela economia ao utilizá-lo como fertilizante, além dos benefícios ambientais, associados ao seu uso.

Palavras-chave: áreas degradadas; lodo de esgoto; microrganismos do solo.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effects of different concentrations of sewage sludge biosolid concentrations, submitted to thermal treatment, in the establishment of herbaceous species (black oats, vetches, and ryegrass) and in the chemical and microbiological attributes of a soil degraded by coal mining. The experiment was installed in an area degraded by coal mining, in Treviso/SC, with treatments composed of concentrations of 0; 6.25; 100; 250; and 500 Mg ha⁻¹ of biosolids, in 2x2 m plots. Species of black oat, vetch, and ryegrass were grown in a consortium manner, evaluating the plant parameters and chemical attributes of the soil at depths 0-5, 5-10, and 10-20 cm. The biosolids provided improvements in soil fertility, such as pH elevation, increased levels available of P, K, and total organic carbon, in addition to not influencing mycorrhizal colonization, basal soil respiration, and root nodulation. The use of biosolid waste as a substrate in degraded areas is an alternative to its final disposal due to the economy when using it as a fertilizer, in addition to the environmental benefits associated with its use.

Keywords: degraded areas; sewage sludge; soil microorganisms.

INTRODUÇÃO

A mineração de carvão na região sul de Santa Catarina teve início no século XX, com o descobrimento de dezenas de minas em uma área conhecida atualmente como bacia carbonífera (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008). A mineração de carvão a céu aberto, prática comum na região Carbonífera de Santa Catarina (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002), com a consequente remoção dos horizontes superficiais do solo e

da matéria orgânica contida nessa camada, causou sérios problemas em sua estrutura, na disponibilidade de água e nutrientes, além de afetar a atividade biológica do solo (ALEXANDRE, 1999). Apesar da sua importância como recurso energético, a mineração do carvão é uma atividade potencialmente poluidora, que representa elevado risco ambiental, interferindo na paisagem, na contaminação dos solos e dos recursos hídricos (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011; CASTILHOS; FERNANDES, 2011).

¹Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis (SC), Brasil.

*Autora correspondente: natalia.caron03@gmail.com

Recebido: 10/07/2017 - Aceito: 11/06/2019 - Reg. ABES: 182506

As limitações no estabelecimento de plantas em solos degradados pela mineração de carvão ocorrem principalmente pela compactação, pH ácido e baixo teor de nutrientes, especialmente N e P (POLZ, 2008). Nesse sentido, o fornecimento de uma fonte de matéria orgânica é fundamental para garantir o estabelecimento da vegetação nessas áreas.

O biossólido, rico em matéria orgânica e com pH na faixa de 6,5, após sua incorporação aos solos degradados, atua como condicionador, melhorando as propriedades físicas dos solos, aumentando a porosidade e a infiltração de água e facilitando o desenvolvimento radicular (GODOY, 2013; RIELING *et al.*, 2014). Além disso, melhora as propriedades químicas e biológicas, complexando elementos-traço, armazenando e fornecendo nutrientes às plantas (MELO; MARQUES; MELO, 2001; ANDREOLI, 2001; MELFI; MONTES, 2002).

A utilização de doses adequadas de biossólido pode estimular os microrganismos do solo e favorecer a ciclagem de nutrientes (SANTOS; SANTOS; ARAÚJO, 2009). O comportamento dos microrganismos pode ser um indicador biológico da qualidade do solo e das práticas de manejo empregadas (CHAER; TÓTOLA, 2007). A respiração basal do solo (RB) é um exemplo de indicador biológico bastante sensível em resposta às alterações no meio (BENIZRI; AMIAUD, 2005; BAARU *et al.*, 2007). Por isso, ao mesmo tempo que a RB reflete a atividade respiratória de um ambiente com alta produtividade, reflete o estresse provocado no meio por um passivo ambiental (DA SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

A legislação brasileira, conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 001/86 (BRASIL, 1986), preconiza a obrigatoriedade da recuperação de áreas degradadas pela extração de recursos naturais. Em áreas impactadas pela mineração de carvão, a recuperação passa primariamente pelo restabelecimento das funções ecológicas do solo, ou seja, pela mitigação dos problemas químicos e físicos dos solos construídos após a mineração de carvão (CAMPOS *et al.*, 2010).

Nesse sentido, a aplicação do biossólido em solos é considerada uma prática que promove a recuperação dos nutrientes e da matéria orgânica, fundamentais ao melhoramento das características dos solos, favorecendo o estabelecimento da vegetação (LARA; ANDREOLI; PEGORINI, 2001). No Brasil, ainda que a utilização do biossólido de lodo de esgoto esteja em fase de experimentação, alguns estados como Espírito Santo, São Paulo e Distrito Federal já empregam o biossólido em atividades agrícolas sob orientação e monitoramento de institutos de pesquisa (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002; LEMAINSKI; DA SILVA, 2006). Outro componente de grande importância nos processos de recuperação ambiental de solos impactados é a cobertura vegetal, presente de forma natural ou introduzida no ambiente (CORRÊA; BENTO, 2010).

A utilização de plantas de cobertura capazes de produzir grande quantidade de fitomassa promove a manutenção da cobertura do solo

e a proteção contra a radiação solar, reduzindo a perda de água por evaporação (WILDNER; DADALTO, 1992). Apesar das condições extremas desses ambientes, muitas espécies herbáceas são utilizadas e recomendadas para recuperação de solos de áreas degradadas pela mineração de carvão (INDA *et al.*, 2010; STUMPF *et al.*, 2016), tendo em vista o seu desenvolvimento espontâneo e sua tolerância a ambientes ácidos e de baixa fertilidade (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

Como o sinergismo existente entre rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) interfere diretamente na fixação do N e na absorção do P, nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (FRANCO *et al.*, 1995), utilizar espécies vegetais nodulíferas e que se associam com FMA torna-se uma ferramenta promissora para a recuperação de solos degradados.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou avaliar o biossólido de lodo de esgoto, submetido a tratamento térmico, como uma alternativa de uso em programas de recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão, avaliando-se os atributos químicos do solo e o estabelecimento de espécies herbáceas.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em uma área da Carbonífera Metropolitana S/A, localizada no município de Treviso (SC), latitude 28°28'36" Sul, longitude 49°27'28" Oeste. O clima da região é do tipo subtropical constantemente úmido (Cfa), conforme classificação de Köppen, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. A temperatura média anual varia entre 17,0 e 19,3°C. O solo que predomina na região é do tipo cambissolo (SANTOS *et al.*, 2013), no entanto o solo da área pós-mineração encontra-se bastante descaracterizado pelo intenso revolvimento das camadas e pela deposição de estéreis de mineração na superfície, sendo assim de difícil identificação.

O experimento foi implantado no dia 13 de julho de 2016 em, aproximadamente, 500 m² de área minerada, a qual recebeu uma camada de 30 cm de solo argiloso. Em seguida, amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 cm de profundidade, em cinco pontos aleatórios dentro da área de implantação do experimento, para caracterização inicial. O solo foi seco ao ar, e determinaram-se os valores de pH em água (1:1), os teores trocáveis de Al (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹), os teores disponíveis de P e K (extraídos por Mehlich-1), conforme Tedesco *et al.* (1995), além do teor de carbono orgânico total (COT), conforme Embrapa (1997). As características do solo antes da implantação do experimento são apresentadas na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, utilizando cinco tratamentos e dez repetições, distribuídos em 50 unidades experimentais de 2 × 2 m. Entre as

unidades experimentais, foram deixadas faixas com 1 m de largura, não tratadas. Os tratamentos constituíram-se de concentrações de biossólido de 0, 6,25, 100, 250 e 500 Mg ha⁻¹, incorporados ao solo até a profundidade de 10 cm, com auxílio de enxadas. O biossólido utilizado no experimento foi coletado na estação de tratamento de efluentes industriais e sanitários da Empresa Rio Vivo Ambiental Ltda., localizada no município de Brusque (SC). As análises químicas e microbiológicas do biossólido estão descritas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Em cada parcela foram semeadas, a lanço, um consórcio de sementes de aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca (*Vicia sativa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) na proporção 4:2:1 (200, 100 e 62,5 kg ha⁻¹, respectivamente).

Ao fim do experimento, em 25 de outubro de 2016, coletaram-se cinco subamostras de solo, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, com um trado calador. O solo foi separado em duas

Tabela 1 - Parâmetros químicos do solo degradado pela mineração de carvão, antes da instalação do experimento de campo, em área pertencente à Carbonífera Metropolitana, Treviso (SC).

Profundidade (cm)	pH	H+Al*	Al**	P***	K****	COT
		cmol _c dm ⁻³		mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹
0-5	3,89	2,75	9,53	16,29	13,20	15,76
5-10	3,93	3,39	10,02	16,55	13,40	15,89
10-20	3,84	3,45	9,40	16,71	12,00	15,02

*acidez potencial; **alumínio trocável; ***fósforo disponível (Mehlich-1); ****potássio disponível (Mehlich-1); COT carbono orgânico total.

Tabela 2 - Características químicas do biossólido coletado na estação de tratamento de esgoto da empresa Rio Vivo Ambiental, Brusque (SC)*.

pH	CO	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹							
6,86	87,0	< 0,5	120,0	< 0,05	10,0	170,0	32,0	< 0,5	
Mo	Ni	Se	Zn	P	N	K	S	Ca	Mg
mg kg ⁻¹									
6,0	11,0	0,6	570	6400	14.200	900	1.100	2.300	1.100

*Valores representam os teores totais de cada elemento no biossólido.

Tabela 3 - Quantificação dos patógenos existentes no biossólido da estação de tratamento de esgoto da empresa Rio Vivo Ambiental, Brusque (SC).

Análise microbiológica	LQ	Resultado	VMP
Coliformes termotolerantes (NMP/g de ST)	< 1.600	2,20 × 10 ⁷	10 ³
Ovos viáveis de helmintos (ovo/g de ST)	0,25	< 0,25	0,25
<i>Salmonella spp.</i> (ovo/g de ST)	1	< 1	10
Vírus entéricos (NMP/10 g)	0,25	< 0,25	0,25

LQ: limite de quantificação; VPM: valor máximo permitido; NMP: número mais provável; ST: sólidos totais; UFP: unidade formadora de placa.

partes: a primeira parte foi seca ao ar e submetida à análise de pH em água, índice SMP (SHOEMAKER; MCLEAN; PRATT, 1961), Al trocável, P e K disponível e COT, conforme metodologias citadas anteriormente para a caracterização inicial do solo; a segunda parte do solo foi armazenada a 4°C, e procedeu-se à contagem de FMA, segundo metodologia descrita por Gerdemann e Nicolson (1963), e RB, segundo Isermeyer (1952).

A parte aérea das plantas foi coletada no estágio de pleno florescimento em uma área útil de 0,25 m², tomada na parte central de cinco unidades experimentais de cada tratamento, escolhidas ao acaso. Nas amostras do material vegetal, realizou-se a separação das partes aérea e radicular das plantas. A parte aérea foi medida com auxílio de uma régua graduada de 30 cm e submetida à secagem em estufa de circulação de ar a 60°C até peso constante, obtendo-se a matéria seca da parte aérea (MSPA). A porção radicular foi lavada em água corrente sobre peneira de 0,5 mm de malha, e 1 g de raízes finas foi coletada, armazenada em cápsulas com solução de formalina-álcool-ácido acético (FAA) para posterior clarificação e coloração com azul de tripano (PHILLIPS; HAYMAN, 1970), que é o procedimento utilizado para quantificação da taxa de colonização micorrízica, na qual as raízes são analisadas em estereoscópio por meio do método de interseção em placa quadriculada (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980). O restante das raízes foi submetido à secagem em estufa sob as mesmas condições descritas para a secagem da parte aérea, a fim de se obter a matéria seca radicular (MSR).

A MSPA e a MSR de cada amostra foram quantificadas, com a balança analítica, após a secagem em estufa a 60°C, até massa constante. O tecido vegetal seco foi triturado em moinho, em peneiras de 0,5 mm, e determinaram-se os teores de P e N total conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

Submeteram-se os dados obtidos à análise de variância, e compararam-se as médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Os resultados da colonização micorrízica e o número de esporos, antes de serem submetidos à análise de variância, foram normalizados pela transformação conforme Equação 1 e Equação 2, respectivamente.

$$y = \arcsin \sqrt{\% \text{ colonização} / 100} \quad (1)$$

Em que:

y = variável aleatória.

$$y = (x + 0,5)^{1/2} \quad (2)$$

Em que:

y = variável aleatória;

x = número de esporos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do bio sólido não promoveu alteração nos valores de pH do solo em nenhuma das profundidades avaliadas em um mesmo tratamento (Tabela 4). Contudo, ao se comparar os solos que receberam 100 e 250 Mg ha⁻¹, os maiores valores de pH foram observados na camada 0-5 cm, diminuindo os valores de pH nas demais profundidades (Tabela 4).

Tabela 4 - Atributos químicos de solo degradado pela mineração de carvão com adição de diferentes concentrações de bio sólido, Carbonífera Metropolitana, Treviso (SC)*.

Profundidade (cm)	Bio sólido (Mg ha ⁻¹)					CV (%)
	0	6,25	100	250	500	
pH em H ₂ O (relação 1:1)						
0-5	4,15 ^{ns} A	4,06 ^{ns} A	4,37 aA	4,52 aA	4,46 ^{ns} A	7,14
5-10	3,99 A	4,17 A	4,00 bA	4,25 bA	4,16 A	3,72
10-20	3,86 A	4,07 A	3,93 bA	3,85 cA	3,96 A	6,15
CV (%)	5,15	4,22	4,62	4,14	9,41	
H+Al ^{**} , cmol _c dm ⁻³						
0-5	83,43 ^{ns} A	60,67 ^{ns} B	32,65 bC	37,22 cC	6,73 cD	12,18
5-10	76,67 A	64,27 B	82,68 aA	68,35 bB	66,61 bB	9,98
10-20	85,95 B	66,41 C	86,74 aB	85,46 aB	98,24 aA	6,20
CV (%)	6,75	8,34	11,69	10,14	7,18	
Al, cmol _c dm ⁻³						
0-5	8,44 bA	8,06 bA	5,45 bB	4,85 cB	3,77 bB	25,14
5-10	8,62 bA	9,30 aA	8,23 aA	6,97 bB	6,46 aB	14,30
10-20	9,72 aA	9,03 aA	8,87 aA	9,65 aA	8,75 aA	11,81
CV (%)	9,52	8,38	9,70	14,69	35,84	
P, mg kg ⁻¹						
0-5	2,36 aB	14,64 ^{ns} B	7,30 aB	16,84 aB	31,59 aA	59,99
5-10	1,16 aD	14,84 A	2,55 bC	3,41 bC	11,50 bB	16,12
10-20	2,42 aB	15,05 A	1,33 bB	2,24 bB	3,28 bB	24,73
CV (%)	50,33	6,48	64,00	27,00	59,84	
K, mg kg ⁻¹						
0-5	34,75 aB	19,25 aC	36,75 aB	34,40 aB	49,25 aA	28,69
5-10	21,20 bA	14,20 bB	13,80 bB	20,00 bA	25,25 bA	20,75
10-20	22,25 bA	14,25 bB	13,25 bB	14,40 bB	16,25 bA	31,78
CV (%)	21,54	16,27	39,54	18,00	31,28	
COT, g kg ⁻¹						
0-5	12,47 aA	19,63 aA	16,51 aA	16,01 ^{ns} A	19,52 ^{ns} A	22,21
5-10	8,77 bB	13,81 bB	10,41 bB	10,76 B	20,46 A	31,75
10-20	13,83 aB	14,07 bB	12,30 bB	13,89 B	21,60 A	27,30
CV (%)	23,57	22,86	26,07	28,88	27,48	

*médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo; **acidez potencial; Al: alumínio trocável; P: fósforo disponível (Mehlich-1); K: potássio disponível (Mehlich-1); COT: carbono orgânico total; CV: coeficiente de variação.

De acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016), os valores de pH obtidos são considerados baixos, podendo estar relacionados à presença dos estereis de mineração e à oxidação da pirita (KOPPE; COSTA, 2008). O pH do solo é o atributo que interfere de forma mais intensa na disponibilidade de nutrientes no solo, sendo o pH ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas na faixa de 5,5 a 6,5 (CQFS-RS/SC, 2016).

O pH do solo influencia na disponibilidade do Al. Em solos com pH abaixo de 5,5, ocorre dissolução das formas precipitadas do Al, promovendo a liberação de formas iônicas (Al³⁺) na solução do solo. Dessa forma, o Al passa a ocupar os sítios de troca catiônica e, se absorvido pelas plantas, inibe o crescimento e desenvolvimento delas (ALCARDE, 1992). Pelo poder de correção da acidez do solo proporcionado pelo bio sólido utilizado, verificou-se que os teores de Al do solo decresceram até a profundidade de 5 cm no tratamento com 100 Mg ha⁻¹ e até 10 cm nos tratamentos com 250 e 500 Mg ha⁻¹, quando comparados com os tratamentos controle e 6,25 Mg ha⁻¹ (Tabela 4). A redução nos teores de Al foi de 35, 42 e 55% para os tratamentos com 100, 250 e 500 Mg ha⁻¹ de bio sólido, respectivamente, em relação ao controle.

O aumento das concentrações de bio sólido promoveu redução na acidez potencial do solo na camada superficial. As reduções percentuais na acidez potencial do solo foram de 27, 61, 55 e 92% para os tratamentos 6,25, 100, 250 e 500 Mg ha⁻¹, respectivamente, em relação ao tratamento controle. A acidez potencial é a capacidade do solo em resistir à alteração do pH, sendo influenciada pela composição do solo, especialmente os teores de argila e matéria orgânica (ERNANI; GIANELLO, 1982).

O uso do bio sólido também aumentou a disponibilidade de nutrientes no solo, como P e K, especialmente na camada 0-5 cm, em que os maiores valores foram observados no tratamento com 500 Mg ha⁻¹ de bio sólido. O incremento nos teores de P foi de 13 vezes em relação ao controle (Tabela 4). Isso ocorreu pelos elevados teores desse nutriente contido no bio sólido (Tabela 2), o que favorece o desenvolvimento das plantas.

O incremento nos teores de P e K proporcionado pela adição de lodo de esgoto (30%) em solo degradado também foi verificado por Torres Modesto *et al.* (2009). Corrêa e Bento (2010) relataram aumento nos teores de P e K em substrato contendo doses crescentes de bio sólido para o cultivo de plantas em solos degradados. Andreoli (1999), realizando experimentos em campo com aveia e milho em diferentes dosagens de lodo (6, 12 e 18 t ha⁻¹), notou aumento significativo nos teores de P e K proporcionais às dosagens utilizadas de lodo, corroborando os resultados do presente estudo.

Em relação ao COT, o uso do bio sólido não promoveu efeito nos teores da camada 0-5 cm, enquanto nas demais camadas o tratamento 500 Mg ha⁻¹ apresentou maiores teores de COT em relação

aos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si (Tabela 4). Castro *et al.* (2002) relataram incremento significativo nos teores de COT no solo em função do uso de lodo de esgoto como adubo orgânico em áreas degradadas. Em contrapartida, os teores de COT encontrados no experimento não demonstraram variação entre os tratamentos avaliados. Para avaliar o efeito do uso contínuo do biossólido, necessita-se de um período mais longo para que sejam observados resultados mais consistentes (LEITE *et al.*, 2003; BELO *et al.*,

2012), pois no presente estudo foi avaliado o efeito de apenas uma aplicação de biossólido.

Para o parâmetro altura das plantas, observaram-se os maiores incrementos com aplicação de 100 Mg ha⁻¹ de biossólido, com acréscimo de 4,2 vezes em relação ao tratamento controle (Figura 1A). Além disso, vários autores mostram que há uma relação direta entre a produção de matéria seca da parte aérea e a produção de matéria seca do sistema radicular (SABONARO, 2006). De acordo com Rosa, Naves e Oliveira

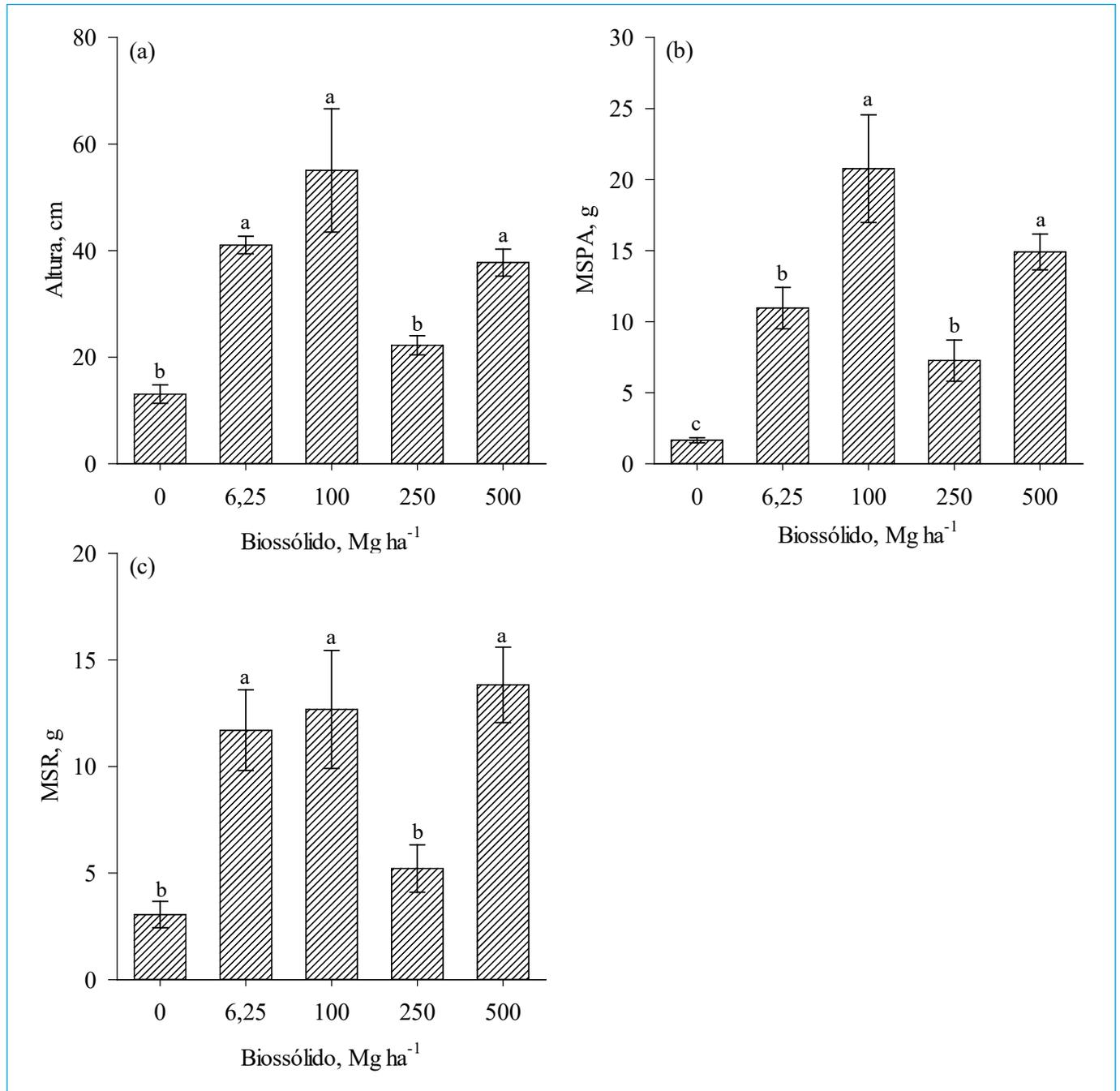


Figura 1 - (A) Altura média das plantas, (B) matéria seca da parte aérea (MSPA) e (C) matéria seca radicular (MSR) do consórcio aveia preta, ervilhaca e azevém cultivados em solo degradado pela mineração de carvão com adição de biossólido. Barras verticais representam o erro padrão da média (n = 5). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05).

Júnior (2005), esses parâmetros estão intimamente relacionados, já que o bom desenvolvimento da parte aérea de uma planta depende do bom desenvolvimento de seu sistema radicular.

A aplicação de biofósforo incrementou a produção de MSPA do consórcio avaliado. Os tratamentos com 100 e 500 Mg ha⁻¹ apresentaram os melhores resultados, com acréscimo de 12,5 e 9,0 vezes em relação ao tratamento controle (Figura 1B). A matéria seca radicular (MSR) exibiu diferença entre os tratamentos avaliados: os tratamentos com 6,25, 100 e 500 Mg ha⁻¹ tiveram os maiores valores de MSR, com incrementos de 3,8, 4,2 e 4,5 vezes, respectivamente, em relação ao tratamento controle (Figura 1C). Há um crescimento mais rápido da porção aérea da planta pelo aumento da área de absorção dos nutrientes disponíveis no solo pelas raízes, produzindo maior fitomassa (FETENE; FELEKE, 2001).

Os aumentos da altura, da MSPA e da MSR podem estar relacionados ao fornecimento de P e N, por meio do biofósforo, para as plantas (MARSCHNER, 2012). Caldeira *et al.* (2014) e Rocha *et al.* (2013) encontraram maiores valores em altura e produção de MSPA e MSR em mudas de *Eucalyptus* quando cultivadas em substrato contendo 80 e 100% de lodo de esgoto, respectivamente, e associaram esses resultados ao incremento de P proporcionado pelo lodo de esgoto. Da mesma forma, Almeida *et al.* (2005) relataram aumento da MSPA e da MSR de espécies arbóreas com doses crescentes de lodo de esgoto aplicadas no plantio. O P é um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento e

o desenvolvimento inicial das plantas (FURTINI NETO *et al.*, 2001). De acordo com Prochnow, Alcarde e Chien (2004), a disponibilidade de íons fosfato no solo está diretamente relacionada ao pH, pois, com a elevação do pH, ocorre aumento das cargas negativas e redução das positivas no complexo de troca, diminuindo a solubilidade de compostos de Al e Fe. Essa reação proporciona aumento na concentração de P na solução do solo, tornando o ambiente mais favorável ao desenvolvimento da vegetação.

Os teores de N e P da parte aérea das plantas indicam que o consórcio de aveia preta, ervilhaca e azevém foi influenciado pelas concentrações de biofósforo quando incorporadas ao solo. À medida que aumentou a proporção de biofósforo no substrato, aumentaram também os teores de N e P na parte aérea das plantas (Figuras 2A e 2B). Os tratamentos com 250 e 500 Mg ha⁻¹ de biofósforo foram os com maiores incrementos nos teores de N na parte aérea das plantas, 106 e 92%, respectivamente, em relação ao tratamento controle (Figura 2A). Para o teor de P na parte aérea, os tratamentos 100 e 250 Mg ha⁻¹ de biofósforo foram os com maior incremento, representando 142 e 193%, respectivamente, em relação ao controle (Figura 2B).

A fim de avaliar os efeitos do biofósforo adicionado ao solo com as interações biológicas no sistema solo-planta, analisaram-se os parâmetros colonização micorrízica (Figura 3A), esporulação (Figura 3B) e nodulação radicular nas espécies consorciadas submetidas a diferentes tratamentos com biofósforo. A colonização micorrízica por FMA

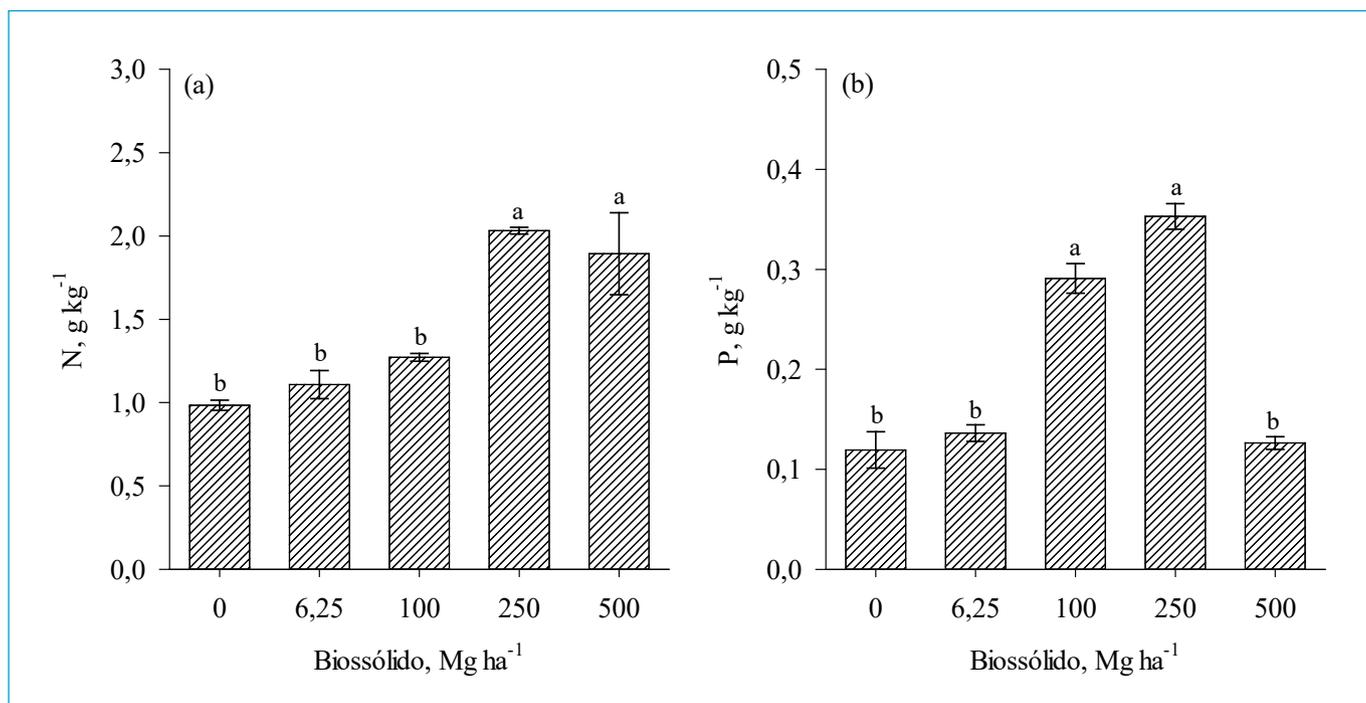


Figura 2 – Teores de (A) N e (B) P em consórcio de aveia preta, ervilhaca e azevém cultivado em solo degradado pela mineração de carvão com adição de biofósforo. Barras verticais representam o erro padrão da média (n = 5). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05).

e a esporulação não sofreram efeito com a adição de biossólido, não demonstrando variação entre os tratamentos. Em contrapartida, os valores da contagem de esporos do solo pré-experimento e pós-experimento indicaram que a adição de biossólido promoveu um decréscimo médio de 42% em relação ao número de esporos presentes no solo antes da aplicação dos tratamentos, sugerindo que o biossólido possui influências negativas para essa variável (Figura 3A).

A reduzida taxa de colonização micorrízica, observada neste estudo, pode ser explicada pela presença de poluentes químicos no solo que afetam negativamente alguns processos do ciclo de vida dos FMA, tais como a germinação de esporos, o crescimento de hifas e a colonização radicular (KLAUBERG-FILHO *et al.*, 2005). A retirada da vegetação e a substituição da camada superficial do solo original, bem como a exposição à temperatura e aos solos ácidos, também influenciam na

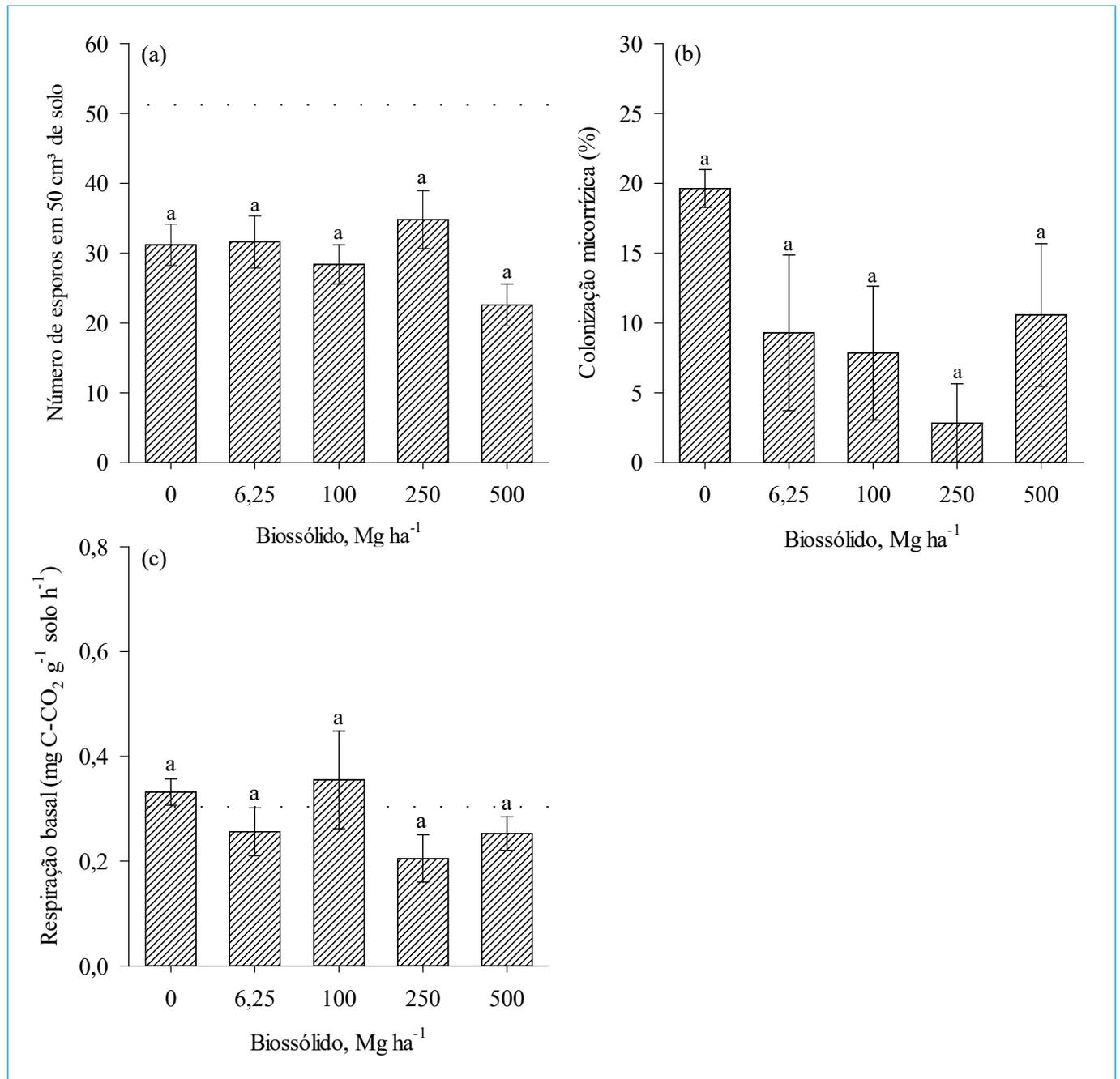


Figura 3 - (A) Número de esporos, (B) colonização micorrízica e (C) respiração basal nas raízes de aveia preta, ervilhaca e azevém cultivados em solo degradado pela mineração de carvão com adição de biossólido. Barras verticais representam o erro padrão da média (n = 5). Linha tracejada representa (A) a média do número de esporos e (C) respiração basal antes da aplicação do biossólido (n = 5). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05).

redução do número de propágulos de fungos e na baixa colonização das plantas (MEHROTRA, 1998).

Outro fator que afeta os atributos biológicos do solo é a composição do bio sólido, especialmente a concentração de P. Segundo estudos realizados por Melloni *et al.* (2000) e Moreira e Siqueira (2006), elevados teores de P no solo promovem reduções acentuadas na colonização micorrízica radicular. Em estudos desenvolvidos por Bettiol *et al.* (1986) com aplicação de doses de bio sólido e sua influência na formação de FMA em cultivo com *Pinus*, os autores destacaram a inibição na formação de micorrizas em todas as concentrações testadas (10, 30 e 50%).

De maneira geral, as plantas controlam a colonização micorrízica conforme a necessidade. A relação de causa e efeito no sistema solo-bio sólido-planta não está clara, mas pode envolver uma menor dependência das plantas por FMA para a aquisição de recursos. Com maior disponibilidade de P e melhor pH do solo, as plantas podem não necessitar tanto dessa simbiose (SMITH; READ, 2008), e o bio sólido pode servir de condicionador desses elementos para o sistema solo-planta. Nessas condições, a simbiose é inibida por meio de mecanismos genéticos controlados pelas plantas (LAMBASIS *et al.*, 2003).

A ervilhaca é uma herbácea que se associa a bactérias fixadoras de N, formando nódulos nas raízes (CALEGARI *et al.*, 1993). Apesar de essa condição ser inerente a essa espécie, nenhum nódulo foi observado nas raízes das plantas nos experimentos conduzidos em campo, indicando que as concentrações de bio sólido testadas possam ter suprido as necessidades nutricionais das plantas por N e, possivelmente, ter influenciado na não formação dos nódulos radiculares.

Outro parâmetro utilizado para avaliar a qualidade do solo é a RB, utilizada como indicador de todas as atividades metabólicas realizadas pelos microrganismos do solo, principalmente bactérias e fungos, nas quais o CO₂ é produzido por meio da degradação da matéria orgânica. Dessa forma, a RB está diretamente relacionada com a atividade

microbiana do solo e com o COT, possibilitando estabelecer uma relação direta entre a RB e o aporte de carbono que está sendo adicionado ao sistema (PARKIN; DORAN; FRANCO-P-VIZCAÍNO, 1996; HENDRIX; HAN; GROFFMAN, 1988).

Para a RB, não houve diferença entre os tratamentos quanto à liberação de C-CO₂, com uma média geral de 0,28 mg C-CO₂ g⁻¹ solo h⁻¹. O valor médio da RB obtido antes da implantação do experimento foi de 0,30 mg C-CO₂ g⁻¹ solo h⁻¹, não diferindo do valor dos tratamentos posteriores (Figura 3C). Holanda Neto (2011) também não encontrou diferenças significativas na RB de solos construídos de áreas de mineração de carvão submetidos a diferentes cultivos de gramíneas. Em contrapartida, ao avaliarem as modificações na biomassa e na atividade microbiana de um solo em função do cultivo de diferentes espécies de cobertura vegetal, Santos *et al.* (2008) relataram intensa liberação de CO₂ em todos os tratamentos analisados.

A RB é um indicador bastante sensível em resposta às alterações no meio, tais como: disponibilidade de substrato, umidade, temperatura, tipo de manejo empregado no solo, adição de adubo, resíduos de plantas e insumos (BENZIRI; AMIAUD, 2005; BAARU *et al.*, 2007). Por isso, ao mesmo tempo que a RB reflete a atividade respiratória de um ambiente com alta produtividade, pode refletir o estresse provocado no meio por um passivo ambiental (DA SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

CONCLUSÃO

O uso do bio sólido como componente de substrato em áreas degradadas pela mineração de carvão é uma alternativa viável para a disposição final desse resíduo tendo em vista a economia de fertilizante que esse material pode proporcionar, além dos benefícios ambientais associados ao seu uso. A aplicação de bio sólido melhorou os aspectos de fertilidade do solo degradado. As concentrações iguais a 100 Mg ha⁻¹ de bio sólido afetaram o crescimento (altura, MSPA e MSR) das três espécies vegetais implantadas. As concentrações de bio sólido testadas não afetaram os parâmetros microbiológicos do solo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; GATIBONI, L.C.; ELTZ, F.L.F. (2011) Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 7, p. 367-403.

ALCARDE, J.C. (1992) *Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas*. São Paulo: ANDA. (Boletim Técnico, 6).

ALEXANDRE, N.Z. (1999) Diagnóstico ambiental da Região carbonífera de Santa Catarina: degradação dos recursos naturais. *Revista Tecnologia e Ambiente*, v. 5, n. 2, p. 35-50.

ALMEIDA, G.J.F.; POGGIANI, F.; MOREIRA E MOREIRA, R.; STAPE, J. (2005) Efeito do bio sólido aplicado no plantio no desenvolvimento aéreo e radicular de espécies arbóreas *In: Anais SIICUSP*, 13, Piracicaba. Esalq/USP, CD-Rom.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. (2009) Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 411-418. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>

- ANDREOLI, C.V. (1999) *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: Abes. 97 p.
- ANDREOLI, C.V. (2001) *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*, Projeto PROSAB, RiMa, ABES: Rio de Janeiro: ABES.
- BAARU, M.W.; MUNGENDI, D.N.; BATIONO, A.; VERCHOT, L.; WACEKE, W. (2007) Soil microbial biomass carbon and nitrogen as influenced by organic and inorganic inputs at Kabete, Kenya. *In: BATIONO, A.; WASWA, B.; KIHARA, J.; KIMETU, J. (orgs.). Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: challenges and opportunities*. Nairobi: Springer. p. 827-832.
- BELO, E.S.; TERRA, F.D.; ROTTA, L.R.; VILELA, L.A.; PAULINO, H.B.; SOUSA, E.D.; VILELA, L.A.F.; CARNEIRO, M.A.C. (2012) Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. *Global Science Technology*, v. 5, n. 3, p. 107-116.
- BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. (2002) *A história do carvão de Santa Catarina*. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina. 300 p. Disponível em: <http://www.siecsc.com.br/pdf/livro_carvao/a_historia_do_carvao_de_santa_catarina.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016.
- BENIZRI, E.; AMIAUD, B. (2005) Relationship between plants and soil microbial communities in fertilized grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 37, n. 11, p. 2055-2064. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.03.008>
- BETTJOL, W.; AUER, C.G.; KRUNER, T.; PREZOTTO, M.E.M. (1986) Influência de lodo de esgoto e de acículas de pinus na formação da ectomicorrizas em mudas de Pinus caribaea var. hondurensis pelos fungos Pisolithus tinctorius e Thelephora terrestris. *IPEF*, v. 34, p. 41-46.
- BRASIL. (1986) Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Confere o artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983, para efetivo exercício das responsabilidades que lhe são atribuídas pelo artigo 18 do mesmo decreto, e Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Coleção de leis [do] Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 20 jul. 2016.
- CALDEIRA, M.W.; GONÇALVES, E.O.; TRAZZI, P.A.; DELARMELINA, W.M.; ROCHA, R.L.F. (2014) Crescimento de mudas de Eucalyptus grandis utilizando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café in natura. *Floresta*, v. 44, n. 2, p. 195-206. <http://dx.doi.org/10.5380/rfv44i2.30170>
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. (1993) Aspectos gerais da adubação verde. *In: COSTA, M.B.B. (Coord.). Adubação verde no sul do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa. p. 1-56.
- CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A.; SILVEIRA, C.B.; GATIBONI, L.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, Á.L.; MIQUELLUTI, D.J.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J.C.P. (2010) Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 9, n. 2, p. 198-205.
- CASTILHOS, Z.C.; FERNANDES, F.R.C. (2011) A bacia carbonífera sul catarinense e os impactos e passivos da atividade da indústria extrativa mineral de carvão na territorialidade. *In: FERNANDES, F.R.C.; ENRÍQUEZ, M.A.R.S.; ALAMINO, R.C.J. (orgs.). Recursos minerais e sustentabilidade territorial: grandes minas*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. p. 361-386.
- CASTRO, L.A.R. de; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; TAMANINI, C.R.; FERREIRA, A.C. (2002) Efeitos do lodo de esgoto como recuperados de áreas degradadas com finalidade agrícola. *In: Anais V SIMPOSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS*. Embrapa Agrobiologia. 536p.
- CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. (2007) Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1381-1396. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600016>
- CORRÊA, R.S.; BENTO, M.A.B. (2010) Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 4, p. 1435-1443. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400039>
- CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016) *Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 376 p.
- DA SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. (2007) *Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)*. Comunicado Técnico (INFOTECA-E). Brasil: Embrapa Agrobiologia.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. (1982) Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubo mineral e calcário no rendimento vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 6, p. 119-124.
- FERREIRA, D.F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FETENE, M.; FELEKE, Y. (2001) Growth and photosynthesis of seedlings of four tree species from a dry tropical afro-montane forest. *Journal of Tropical Ecology*, v. 17, n. 2, p. 269-283. <https://doi.org/10.1017/S0266467401001183>
- FRANCO, A.A.; DIAS, L.E.; FARIA, S.D.; CAMPELLO, E.F.C.; SILVA, E.R. (1995) Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: um modelo tecnológico. *Oecologia Australis*, v. 1, n. 1, p. 459-467. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8043/6479>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

- FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.D.; RESENDE, Á.V.D.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.D.A. (2001) *Fertilidade do solo*. Lavras: UFLA/FAEPE. 252 p.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. (1963) Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 46, n. 2, p. 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. (1980) An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, v. 84, n. 3, p. 489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- GODOY, L.C. (2013) A logística na destinação do lodo de esgoto. *Revista Científica On-line Tecnologia, Gestão e Humanismo*, São Paulo, v. 2, n. 1.
- HENDRIX, P.F.; HAN, C.R.; GROFFMAN, P.M. (1988) Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystems under different winter cover crop rotations. *Soil and Tillage Research*, v. 12, n. 2, p. 135-148. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90037-2](https://doi.org/10.1016/0167-1987(88)90037-2)
- HOLANDA NETO, M.R. (2011) *Atributos microbiológicos de um solo construído vegetado com gramíneas após mineração de carvão em Candiota/RS*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- INDA, A.V.; QUINONES, O.R.G.; GIASSON, E.; BISSANI, C.A.; DICK, D.P.; NASCIMENTO, P.C. do. (2010) Atributos químicos relacionados ao processo de sulfurização em solos construídos após mineração de carvão. *Ciência Rural*, v. 40, n. 5, p. 1060-1067. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000500010>
- ISERMEYER, H. (1952) Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 56, n. 1-3, p. 26-38. <https://doi.org/10.1002/jpln.19520560107>
- KLAUBERG-FILHO, O.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.D.S.; SOARES, C.R.F.S.; SILVA, S. (2005) Ecologia, função e potencial de aplicação de fungos micorrízicos arbusculares em condições de excesso de metais pesados. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M. (orgs.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 85-144.
- KOPPE, J.C.; COSTA, J.F.C.L. (2008) A lavra de carvão e o meio ambiente em Santa Catarina. In: SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA, M.V. *Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p. 25-38.
- LAMBAIS, M.R.; RIOSRUIZ, W.F.; ANDRADE, R.M. (2003) Antioxidant responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, v. 160, p. 421-428. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00881.x>
- LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. (2001) Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA)/UFMG e Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). v. 6. p. 462-482.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. (2003) Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, p. 821-832. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500006>
- LEMAINSKI, J.; DA SILVA, J. (2006) Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 4, p. 741-750. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000400015>
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic, 2012. 902 p.
- MEHROTRA, V.S. (1998) Arbuscular mycorrhizal associations of plants colonizing coal mine spoil in India. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 130, n. 2, p. 125-133. <https://doi.org/10.1017/S0021859697005091>
- MELFI, A.J.; MONTES, C.R. (2002) Impacto dos biossólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (orgs.). *Biossólidos na agricultura*. 2. ed. São Paulo: ABES. p. 243-272.
- MELLONI, R.; NOGUEIRA, M.A.; FREIRE, V.F.; CARDOSO, E.J.B.N. (2000) Fósforo adicionado e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição mineral de limoeiro-cravo [*Citrus limonia* (L.) Osbeck]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 4. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000400009>
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V. (2001) O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P. (orgs.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: Sabesp. p. 289-363.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (2006) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 625p.
- PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCOP-VIZCAÍNO, E. (1996) Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A. (orgs.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America. P. 231-245.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 55, n. 1, p. 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- POLZ, J.A. (2008) Recuperação de áreas impactadas pela mineração de carvão a céu aberto em Santa Catarina: Gestão de rejeitos e revegetação. In: SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA, M.V. *Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.
- PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. (2004) Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (orgs.). *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafos. p. 605-663.

- RIELING, R.C.; ZAMPAR, R.; NAVARRETE, L.P.; SILVA, J.P. (2014) Efeito residual do lodo de esgoto na produção de mudas de espécies nativas para reflorestamento. *SaBios: Revista de Saúde e Biologia*, v. 9, n. 2, p. 31-39.
- ROCHA, J.H.T.; BACKES, C.; DIOGO, F.A.; PASCOTTO, C.B.; BORELLI, K. (2013) Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-35. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.331>
- ROSA, M.E.C.; NAVES, R.V.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P. (2005) Produção e crescimento de mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomez) em diferentes substratos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 2, p. 65-70.
- SABONARO, D.Z. (2006) Utilização de composto de lixo urbano na produção de mudas de espécies arbóreas nativas com dois níveis de irrigação. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal (SP), 105p.
- SANTOS, D.C.; CASTILHOS, D.D.; PAULETTO, E.A.; FERNANDES, F.F.; PINTO, L.F.S.; CASTILHOS, R.M.V. (2008) Biomassa e atividade microbiana em solo construído após mineração de carvão e submetido a diferentes coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 14, n. 3-4, p.135-146. <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v14i3.1943>
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. (2013) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 353p.
- SANTOS, J.A.; SANTOS, V.B.; ARAÚJO, A.S.F. de. (2009) Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. *Bioscience Journal*, v. 25, n. 2, p. 17-23.
- SHOEMAKER, H.E.; MCLEAN, E.O.; PRATT, P.F. (1961) Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Science Society of America Journal*, v. 25, n. 4, p. 274-277. <https://doi.org/10.2136/sssaj1961.03615995002500040014x>
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. (2002) Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I-Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 2, p. 487-495. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200023>
- SMITH, S.E.; READ, D.J. (2008) *Mycorrhizal symbiosis*. Londres: Academic Press. 785 p.
- SOARES, P.S.M.; SANTOS, M.D.C.; POSSA, M.V. (2008) *Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 300 p.
- 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. (2016) Condição física e desenvolvimento radicular de gramíneas em solo construído após mineração de carvão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1078-1087. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900007>
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. (1995) *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Boletim Técnico de Solos. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p.
- TORRES MODESTO, P.; SCABORA, M.H.; COLODRO, G.; MALTONI, K.L.; RODRIGUES CASSIOLATO, A.M. (2009) Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 5, p. 1489-1498. <https://doi.org/10.1590/S0100-068320090005000039>
- WILDNER, L. do P.; DADALTO, G.G. (1992) Adubos verdes de inverno para o Oeste catarinense. *Agropecuária Catarinense*, v. 5, n. 1, p. 3-6.