

AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUO DE CURTUME DE COURO DE PEIXE COMO ALTERNATIVA NA RECUPERAÇÃO BIOLÓGICA DE SOLOS DEGRADADOS

EVALUATION OF WASTE FISH LEATHER TANNERY AS AN ALTERNATIVE TO BIOLOGICAL RESTORATION OF DEGRADED SOILS

Leocimara Sutil de Oliveira Pessoa Paes

Bióloga, mestre em Ciência do solo pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Campus Agrárias, Curitiba (PR), Brasil.

Sandy Adrielle Kalb

Bióloga pela Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Campus FAFIPAR – Paranaguá (PR), Brasil.

Rafaela Lombardo

Bióloga pela UNESPAR, Campus FAFIPAR – Paranaguá (PR), Brasil.

Marcelly Xavier de Farias

Bióloga pela UNESPAR, Campus FAFIPAR – Paranaguá (PR), Brasil.

Patrícia de Souza

Bióloga pela UNESPAR – Campus FAFIPAR, Paranaguá (PR), Brasil.

Luis Fernando Roveda

Doutor em Produção Vegetal, docente do Curso de Ciências Biológicas da UNESPAR, Campus FAFIPAR – Paranaguá (PR), Brasil.

Kátia Kalko Schwarz

Doutora em Zootecnia, docente do Curso de Ciências Biológicas da UNESPAR, Campus FAFIPAR – Paranaguá (PR), Brasil

Endereço para correspondência:

Leocimara Sutil de Oliveira Pessoa Paes – Rua Dos Funcionários, 1540 – Juvevê – 80035-050 – Curitiba (PR), Brasil – E-mail: leo.paes11@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de lodo de curtume de couro de peixe compostado na recuperação dos atributos químicos e biológicos de um solo degradado. O experimento foi realizado na Floresta Estadual do Palmito – Paranaguá. O resíduo foi gerado pelo curtimento de couro de peixe compostado com serragem, este foi aplicado nas doses de 0, 20, 40, 60, 80 e 100% de lodo de curtume compostado (LCC) em relação a um solo degradado. Como indicadores dos efeitos do LCC no solo degradado, utilizaram-se como parâmetros o carbono, a respiração basal do solo, o carbono da biomassa microbiana, o quociente microbiano, o quociente metabólico e a condutividade elétrica, sendo avaliados em duas épocas. A disposição do LCC em solo degradado proporcionou aumentos no carbono orgânico (CO), respiração basal, carbono da biomassa microbiana e condutividade elétrica. O LCC mostrou potencial na recuperação dos atributos biológicos do solo.

Palavras-chave: carbono; composto orgânico; biomassa microbiana.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of tannery sludge composted fish leather in the recovery of chemical and biological attributes of a degraded soil. The experiment was conducted at the Palmetto State Forest – Paranaguá. The residue was generated by tanning fish skin with sawdust compost, this was applied at a rate of 0, 20, 40, 60, 80 and 100% of tannery sludge composted (TSC) in relation to a degraded soil. Carbon, soil basal respiration, microbial biomass carbon, microbial quotient, metabolic quotient and electrical conductivity were evaluated in two seasons, as indicators of the effects of TSC on degraded soil parameters. The arrangement of TSC on degraded soil caused increases in organic carbon, basal respiration, microbial biomass carbon and electrical conductivity. The TSC showed potential for recovery of biological soil properties.

Keywords: carbon; organic compost; microbial biomass.

INTRODUÇÃO

No Brasil, os resíduos urbanos e de curtumes, muitas vezes, têm sido descartados a céu aberto ou em aterros sanitários (SILVA, 2010) e, com isso, grandes quantidades de nutrientes que poderiam ser reciclados não são aproveitadas (GODECKE *et al.*, 2012). Segundo Oliveira *et al.* (2008), Cavallet e Selbach (2008), Mahapatra *et al.* (2013) e Andrade *et al.* (2016) a utilização destes resíduos pode ser uma alternativa para melhoria das condições químicas e biológicas do solo, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas.

A expansão da piscicultura e o grande volume da produção de peles de peixe comprovam o alto potencial de exploração da atividade do curtume de couro de peixe, resultando em consequente aumento da produção de resíduos, os quais poderão ser destinados e utilizados na recuperação de áreas degradadas. Estes resíduos são constituídos de materiais orgânicos de origem animal, misturados com sais inorgânicos, sendo que alguns desses componentes são nutrientes para as plantas e microrganismos — como nitrogênio, cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e potássio (CAVALLET & SELBACH, 2008) —, apresentando potencial contribuição na recuperação biológica de áreas degradadas.

Diversos autores (SOUZA *et al.*, 2007, 2009; CAVALLET & SELBACH, 2008; LÓPEZ-LUNAA *et al.*, 2009; MAHAPATRA *et al.*, 2013, ANDRADE *et al.*, 2016) ressaltam o efeito positivo da aplicação de resíduos orgânicos no desenvolvimento da vegetação e na recuperação de solos degradados e ácidos, pois a incorporação de matéria orgânica restabelece a estrutura biológica, melhora a circulação de ar e água, e libera nutrientes essenciais ao desenvolvimento da vegetação.

Estudos têm demonstrado que a atividade microbiana do solo é um sensível indicador do efeito da aplicação de resíduos urbanos e industriais (SANTOS *et al.*, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2012). Uma das formas de avaliar o efeito da utilização desses resíduos no solo é através da atividade microbiológica (CARDOSO & FORTES NETO, 2000; ARAÚJO & MONTEIRO, 2007; SANTOS *et al.*, 2011).

Os microrganismos realizam funções essenciais para o funcionamento do solo (DORAN & PARKIN, 1996), e a biomassa microbiana é um importante compartimento da matéria orgânica do solo (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007). Dentre as principais funções desses microrganismos, está a de decomposição da matéria vegetal e a atuação como indicadores sensíveis de estresse e mudanças nos estoques de matéria orgânica, relacionados ao manejo do solo (POWLSON *et al.*, 1997). Quando ocorre a incorporação de resíduos orgânicos no solo e a taxa de biossíntese celular dos microrganismos é maior que a taxa de oxidação do carbono orgânico (CO), ocorrem aumentos nos teores de matéria orgânica no solo (LAMBALIS *et al.*, 2005). Santos *et al.* (2011) encontraram aumentos significativos na biomassa microbiana, após a aplicação de doses crescentes de resíduos industriais, em virtude da disponibilidade de substratos orgânicos e nutrientes. Mahapatra *et al.* (2013) também avaliaram o efeito da adição de resíduos orgânicos de curtume sobre o solo e observaram acréscimos na produção de CO₂, de matéria orgânica e de nutrientes.

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a viabilidade da utilização do resíduo de curtume de couro de peixe compostado com serragem como fertilizante natural na recuperação das características biológicas de um solo degradado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Parque Estadual do Palmito, na região litorânea do município de Paranaguá, coordenadas 25°35'38.80"S e 48°33'39.66"O. O clima da região, segundo a classificação de Alvares *et al.* (2013) é do tipo Cfa — úmido subtropical com verão quente —, temperatura média do mês mais quente acima de 22°C e, nos meses mais frios, as temperaturas mantêm-se entre 10 e 18°C.

A área do experimento foi de aproximadamente 2 m² em local sombreado, paralelo a formação florestal. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições, sendo que cada repetição contava com quatro vasos, totalizando 96 unidades experimentais.

O resíduo orgânico utilizado no experimento é proveniente da Associação das Artesãs de Pontal do Paraná,

com origem do curtimento de couro de peixe. No processo de curtimento do couro, substituiu-se o cromo por tanino, já que esse elemento é potencialmente perigoso à saúde e ao equilíbrio ambiental. O resíduo do curtume caracteriza-se por altos teores de matéria orgânica e de nutrientes, como o fósforo (P) e cálcio (Ca), conforme apresentado na Tabela 1, determinada pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC). O resíduo do curtume foi misturado com serragem na proporção de 30:70 sendo ainda adicionados 0,08% de ureia para auxiliar no processo de compostagem, ficando em repouso por 120 dias. Esse processo foi realizado com o objetivo de se fazer um controle biológico e de transformar o resíduo em um material de fácil manuseio. A cada dez dias, realizava-se a homogeneização do composto e, ao final dos 120 dias, o mesmo foi utilizado para preenchimento dos vasos. Para testar o potencial condicionante do composto, foi coletado um solo degradado (Tabela 1), em uma pedreira desativada localizada à margem da BR 277, km 4, o qual foi misturado com o composto.

Prepararam-se seis diferentes tratamentos com doses crescentes de composto e quatro repetições. A mistura do solo degradado (SD) e do lodo de curtume compostado (LCC) ocorreu nas seguintes proporções:

- Tratamento 1 – 100% SD;
- Tratamento 2 – 80% SD e 20% LCC;
- Tratamento 3 – 60% SD e 40% LCC;
- Tratamento 4 – 40% SD e 60% LCC;

- Tratamento 5 – 20% SD e 80% LCC;
- Tratamento 6 – 100% LCC.

Cada vaso foi formado por copos de plástico de 700 mL, com orifício na parte inferior para percolação da água. Após a montagem do experimento, os vasos foram mantidos em local aberto e parcialmente sombreado, e sua umidade mantida com aspersão semanal.

Após períodos de 90 e 210 dias, foram realizadas coletas de solo. A biomassa microbiana do solo (BMS) foi determinada pelo método de fumigação e extração (SILVA *et al.*, 2007a); a respiração basal do solo (RBS), pela estimativa do CO₂ emanado durante a incubação do solo no período de dez dias, conforme a metodologia descrita em Silva *et al.* (2007b); o quociente microbiano (*q*MIC) foi obtido pela relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico total (COT) do solo; o quociente metabólico (*q*CO₂) foi obtido pela relação entre a quantidade de carbono liberada na respiração basal e a quantidade de carbono quantificada na biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993); e a condutividade elétrica (CE) do solo estimada em extrato aquoso, determinado conforme metodologias citadas em Camargo *et al.* (2009).

Os dados foram analisados quanto à normalidade pelo teste Shapiro-Wilk, submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial, avaliando doses e épocas e, quando significativos, os mesmos foram submetidos à análise de regressão com escolha da equação de melhor ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observados incrementos na BMS, nas duas épocas analisadas, com respostas quadráticas em função

da aplicação de doses crescente do LCC, conforme Figuras 1A e B.

Tabela 1 – Análise química do lodo de curtume compostado e do solo degradado utilizado no experimento, realizada no Instituto Agronômico de Campinas.

Avaliação	pH														
	CaCl ₂	Al+H	CTC	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	K ⁺	P	B ⁺³	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Zn ⁺²	MO	V
	cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³							g dm ⁻³	%
SD	4,5	4,7	5,5	0,6	0,2	0,8	82	1,0	0,18	0,1	5,0	1,9	0,1	17	6
LCC	7,3	1,0	29,5	27,5	0,9	28,6	82	142	0,29	0,3	13,0	1,4	6,6	96	97

LCC: lodo de curtume compostado; SD: solo degradado.

O aumento da biomassa a partir da adição do LCC pode ter favorecido a microbiota do solo, a qual é influenciada pelo teor de carbono (C) presente nas formas facilmente assimiláveis. A BMS, sendo parte do carbono lábil, atua diretamente no ciclo do C, e responde mais rapidamente a mudanças nos padrões de entrada ou níveis de decomposição da matéria orgânica e regula o fluxo de dióxido de carbono (CO_2) entre solo e atmosfera (POWLSON *et al.*, 1997). Roscoe *et al.* (2006) encontraram valores de referência para a BMS em sistemas naturais entre 101 e 1.520 mg C.kg⁻¹ de solo, sendo que, somente em ambientes com teores muito baixos de COT, foram observados valores inferiores a 350 mg C.kg⁻¹ de solo. Dessa forma, os valores máximos encontrados no atributo BMS, na aplicação da maior dose de LCC (Figuras 1A e B), estão dentro dos valores médios de referência encontrados em sistemas naturais.

A RBS analisada nas duas épocas (Figuras 1C e 1D) demonstra um aumento na atividade microbiana, em função da aplicação de LCC no solo. O aumento do CO refletiu diretamente na RBS, sendo que a quantidade de C-CO₂ emanado via processo respiratório aumentou nas duas épocas em virtude da dose de LCC aplicado sem inibição do processo respiratório microbiano em nenhuma das doses utilizadas. Segundo Kray *et al.* (2008), a maior liberação de C-CO₂ em solos tratados com lodo de curtume não se deve apenas a esse aporte orgânico de nutrientes, mas também ao efeito corretivo e à ação inoculante do lodo de curtume, que possui microrganismos adaptados ao meio e atuante na degradação do resíduo.

A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de CO do solo para a atmosfera (SOUZA *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2016). Entretanto, como a decomposição da matéria orgânica estável é desfavorável para muitos processos químicos e físicos (como a desagregação, a liberação de CO do solo para atmosfera), uma alta atividade respiratória pode resultar uma rápida oxidação e indicar tanto um distúrbio ecológico, como a incorporação de resíduos ou um alto nível de produtividade no ecossistema (LAMBAIS *et al.*, 2005).

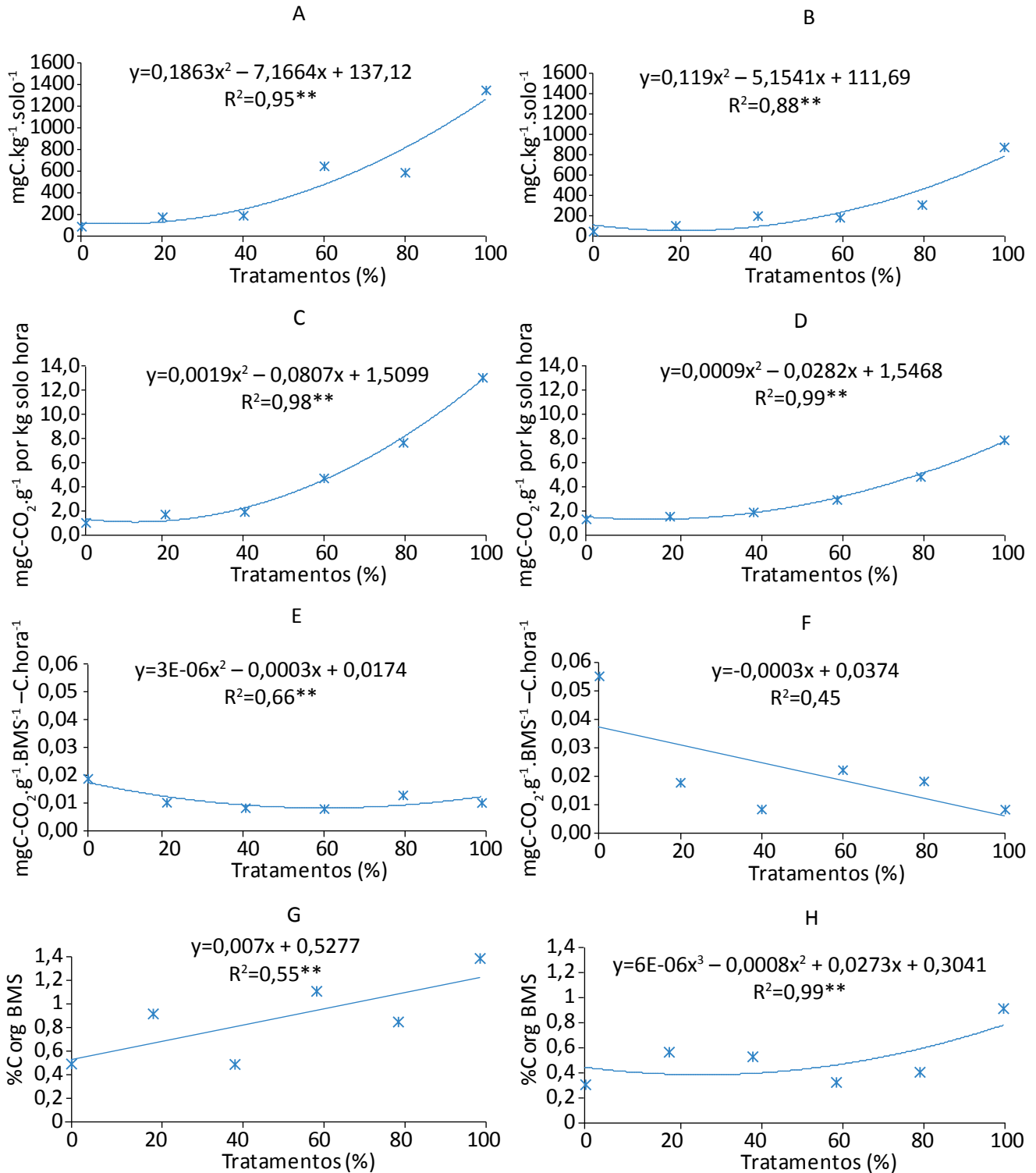
A diminuição da fixação do C da BMS e C-CO₂, na época 2, pode ser atribuído à mineralização inicial do CO prontamente oxidável, cuja exaustão conduz à redução do

fluxo de C-CO₂. As diferenças entre as quantidades de C da BMS fixada e C-CO₂ liberadas nos tratamentos que receberam doses de LCC e nos que não receberam (testemunhas) indicam a contribuição positiva do LCC na atividade microbiana edáfica. Com o aporte do LCC, a atividade microbiana aumentou e, de forma inversamente proporcional, o quociente metabólico diminuiu (Figuras 1E e 1F), indicando a retenção das moléculas de carbono no solo, incorporadas à biomassa (MERCANTE *et al.*, 2004). A relação C_{mic}/C_{org} ($q\text{CO}_2$) é usada como indicador da eficiência da comunidade microbiana em incorporar carbono à própria biomassa e utilizar o carbono disponível para sua biossíntese (ANDERSON & DOMSCH, 2010).

Os resultados para $q\text{CO}_2$ apontam eficiência na comunidade microbiana em fixar C na sua biomassa, provavelmente, pela adaptação à presença dos elementos químicos do composto nas dosagens aplicadas. Souza *et al.* (2009), trabalhando com aplicação de lodo de esgoto por dois anos, observaram uma adaptação da microbiota do solo, devido à aplicação sucessiva do resíduo. Resultados semelhantes foram observados por Trannin *et al.* (2007), Nakatani *et al.* (2011) e Santos *et al.* (2011), que encontraram aumentos significativos na atividade biológica após a aplicação de doses crescentes de resíduos industriais, em virtude da disponibilidade de substratos orgânicos e nutrientes. Cardoso e Fortes Neto (2000), avaliando o efeito da aplicação de doses crescentes de biossólido (0, 10, 20, 40, 80 e 160 mg.ha⁻¹) sobre a microbiota do solo, observaram acréscimos na comunidade microbiana e na atividade dos microrganismos em função das doses aplicadas.

Em comparação às duas épocas, os valores de $q\text{CO}_2$ (Figura 1E-F) se comportam diferentemente na época 2. Essas diferenças podem ser indicativas de estresse sobre os microrganismos, uma vez que a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular. Portanto, durante o estresse na biomassa microbiana, haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como C-CO₂.

O quociente microbiano, que é a relação entre o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e o COT, expressa o quanto do C orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana. Os maiores valores da relação C_{mic}/COT foram detectados na época 1 (Tabela 2 e Figura 1G) e apresentaram diferenças significativas em



**Significativo ao nível de 1%.

Figura 1 – Diferentes épocas da aplicação de doses crescentes de lodo de curtume compostado em solo degradado. (A) biomassa microbiana aos 90 dias; (B) biomassa microbiana aos 210 dias; (C) respiração basal aos 90 dias; (D) respiração basal aos 210 dias; (E) quociente metabólico aos 90 dias; (F) quociente metabólico aos 210 dias; (G) quociente microbiano aos 90 dias; (H) quociente microbiano aos 210 dias.

relação aos tratamentos. Esses valores de C_{mic} indicam uma condição mais favorável à microbiota do solo, atribuída, possivelmente, à maior concentração inicial de C, disponibilizando maior quantidade de substrato orgânico para decomposição e mineralização, fator esse que exerce destacada influência na atividade e na biomassa microbiana (GUPTA & SINHA, 2007).

Os valores de $qMIC$ em todos os tratamentos da época 2 foram baixos (Figura 1H). Esses valores podem ser uma indicação de que a microbiota do solo esteja sofrendo algum estresse, o que pode estar relacionado à baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, fazendo com que a biomassa microbiana tenha dificuldade em utilizar totalmente o CO (GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

D'Andréa et al. (2002) obtiveram, em estudos com sistemas de preparo do solo de produção comparados com campos nativos, valores da relação (%) C_{mic}/C_{org} , variando de 1,52 a 8,10. Alvarenga et al. (1999) conseguiram valores menores dessa relação, variando de 1,34 a 3,08, em estudos do solo sob diferentes manejos.

Em relação às duas épocas, pode-se observar (Tabela 2) que a época 1 apresentou maiores médias em relação à biomassa, à respiração e ao quociente microbiano. Isso se deve ao estímulo que o LCC pode ter provocado aos microrganismos decompositores, no início do experimento, os quais, além de consumir o carbono adicionado por meio do LCC, também podem ter degradado a matéria orgânica nativa do solo.

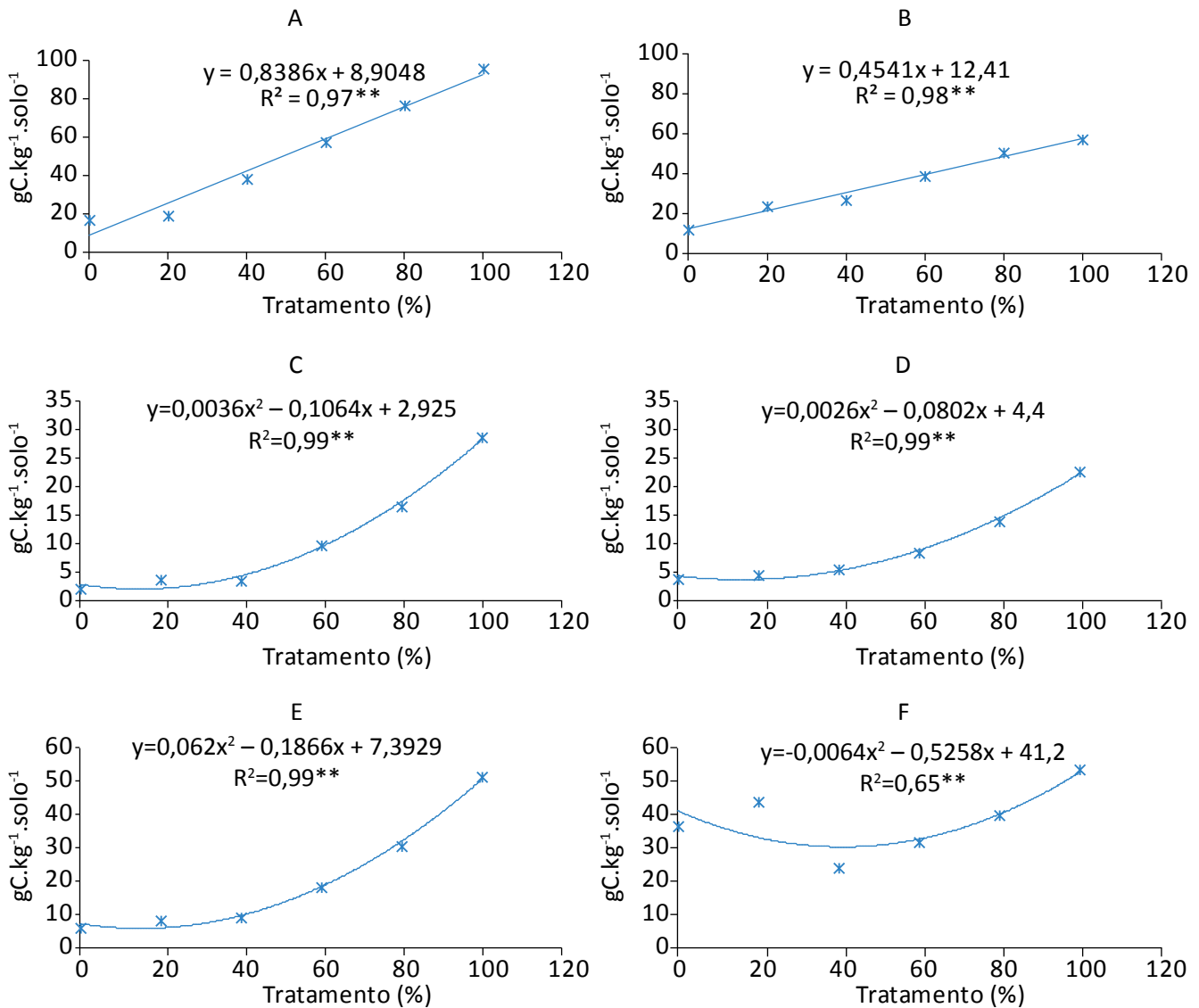
Tabela 2 – Análise Fatorial entre diferentes épocas e tratamentos da avaliação da biomassa microbiana do solo, respiração basal, quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMIC$), em função de doses crescentes de lodo de curtume compostado em solo degradado.

Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	Médias
Biomassa (mg C kg solo ⁻¹)							
Época 1	84 aC	176 aC	189 aC	639 aB	653 aB	1332 aA	512 A
Época 2	52 aB	109 aB	203 aB	187 bB	312 bB	878 bA	290 B
Médias	68 d	143 d	196 cd	413 bc	483 b	1105 a	
Respiração Basal (mg C-CO ₂ por kg Solo h ⁻¹)							
Época 1	1,05 aD	1,78 aD	1,71 aD	4,52 aC	7,73 aB	13,32 aA	5,02 A
Época 2	1,38 aD	1,79 aD	1,87 aCD	2,91 bC	5,45 bB	8,08 bA	3,58 B
Médias	1,21 d	1,78 d	1,79 d	3,73 c	6,59 b	10,70 a	
q . Metabólico (mg C-CO ₂ por g BMS - C h ⁻¹)							
Época 1	0,070	0,010	0,009	0,007	0,012	0,011	0,019 A
Época 2	0,055	0,017	0,008	0,022	0,018	0,008	0,021 A
Médias	0,062 a	0,014 a	0,008 a	0,014 a	0,015 a	0,009 a	
q . Microbiano (%)							
Época 1	0,49	0,91	0,49	1,11	0,85	1,38	0,87 A
Época 2	0,31	0,56	0,53	0,32	0,41	0,91	0,51 B
Médias	0,40 b	0,74 b	0,51 b	0,71 b	0,63 b	1,15 a	

Letras diferentes nas colunas e linhas indicam significância ao nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula corresponde à linha e minúscula corresponde à coluna.

As taxas totais de degradação de C (Figura 2) não acompanharam as doses crescentes de LCC aplicados. Houve redução da taxa de degradação no tratamento que recebeu 40% de LCC em relação aos tratamentos com 0 e 20% (Figura 2F). A diminuição da taxa de degradação pode estar relacionada ao aumento do conteúdo orgânico adicionado, suplantando a capacidade de degradação dos microrganismos do solo (GUPTA & SINHA, 2007).

Observa-se que, embora as quantidades acumuladas de C-CO₂ tenham aumentado juntamente com a BMS em função das doses de LCC aplicadas, esses aumentos não foram suficientes para manter crescente a taxa de degradação. No processo de degradação, compostos mais lábeis de C são exauridos mais rapidamente, aumentando inicialmente a taxa de degradação. No final do experimento, aos 210 dias, com menor concentração de LCC, observou-se menor taxa de degradação,



**Significativo ao nível de 1%.

Figura 2 – Taxa de degradação dos tratamentos com doses crescentes de lodo de curtume compostado. (A) Carbono inicial; (B) Carbono final; (C) Carbono emanado aos 90 dias; (D) Carbono emanado aos 210 dias; (E) somatório do Carbono emanado aos 90 e 210 dias; (F) taxa total de degradação do lodo de curtume compostado em função da respiração basal microbiana.

resultante da diminuição do metabolismo e da capacidade da BMS em fixar C.

A condutividade elétrica (CE) correlaciona-se com os teores de sais dissolvidos na solução do solo compostos pelos cátions Ca^{2+} , Na^{2+} e Mg^{2+} (MARSCHNER, 1996). Os dados encontrados para condutividade elétrica (Tabela 3) também apresentaram resposta quadrática na avaliação, em função de doses crescentes da aplicação de resíduo de curtume de couro de peixe ao solo.

Os tratamentos com adição do LCC apresentaram os maiores valores de CE, possivelmente, devido à alta concentração de sais no mesmo (MEURER *et al.*, 2004). Vários autores constataram que a adição de LCC aos solos eleva a condutividade elétrica e o teor de sódio no solo (AQUINO NETO & CAMARGO, 2000; COSTA *et al.*, 2001; KONRAD & CASTILHOS, 2002; JOSAN *et al.*, 2005; NAKATANI *et al.*, 2012).

Nakatani *et al.* (2012) também observaram que o maior impacto da aplicação ao solo dos mesmos resíduos foi a elevação acentuada da CE e da razão de adsorção de sódio (RAS).

Os tratamentos analisados na época 1 (Tabela 3) apresentaram as maiores médias da condutividade elétrica, possivelmente, devido à elevada concentração de sódio (Na^+) no resíduo, o que proporcionou aumento nos teores do elemento no solo, e que com o tempo foram lixiviados pela precipitação, devido a sua baixa estabilidade no solo, e conseqüentemente adquiriram menores concentrações com o passar do tempo. Resultados semelhantes foram observados por Aquino Neto e Camargo (2000), Costa *et al.* (2001) e Possato *et al.* (2014).

Solos tratados com LCC podem adquirir características salinas, sódicas ou salino-sódicas, em decorrência da elevada concentração de sais e das doses aplicadas de LCC. Os resíduos de curtume apresentam concentrações de Cloro (Cl), Sódio (Na) e Potássio (K) que são de grande importância no aumento da condutividade elétrica. Os elementos Na, Cl e K são citados como os principais responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica em solos (JOSAN *et al.*, 2005; NAKATANI *et al.*, 2012), no entanto, o elemento K não contribuiu para o aumento da condutividade no experimento, pois suas concentrações mantiveram-se semelhantes, tanto na análise do solo degradado quanto na análise do LCC, (Tabela 1) confrontando os resultados encontrados pelos autores supracitados.

Condições de elevada salinidade podem limitar a presença e a atividade dos microrganismos que são partes integrantes dos processos de decomposição e de ciclagem de nutrientes nos solos. Porém, a adição da matéria orgânica presente no lodo pode reduzir o efeito negativo da salinidade sobre a biomassa microbiana (MENDOZA *et al.*, 2013). Assim, mesmo com o aumento da salinidade do solo, não houve interferência no processo metabólico, nem mesmo nas maiores doses de LCC aplicadas.

As técnicas de curtimento de peles têm sido aprimoradas constantemente visando à produção de um resíduo menos tóxico ao meio ambiente, assim muitos curtumes têm substituído o cromo, elemento tóxico ao meio ambiente, pelo tanino, um polímero de origem vegetal. Dessa forma, a utilização dos resíduos de curtume de couro de peixe curtidos com taninos torna-se uma alternativa viável para a disposição adequada do resíduo e para a recuperação biológica de solos degradados.

Tabela 3. Análise Fatorial entre diferentes épocas e tratamentos da avaliação da condutividade elétrica, em função de doses crescentes de lodo de curtume compostado em solo degradado.

	Condutividade ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)						Médias
	Tratamentos (%)						
	0	20	40	60	80	100	
Época 1	51 bD	120 aCD	147 aC	281 aB	446 aA	504 aA	258 A
Época 2	168 aB	178 aB	156 aB	141 bB	235 bAB	302 bA	197 B
Médias	109 c	149 bc	152 bc	211 b	341 a	403 a	

Letras diferentes nas colunas e linhas indicam significância ao nível de 5% de probabilidade. Letra maiúscula corresponde à linha e minúscula corresponde à coluna.

CONCLUSÕES

A utilização de lodo de curtume de couro de peixe, sem adição de cromo, revela-se uma alternativa viável na recuperação biológica de solos degradados.

A adição do lodo de curtume de couro de peixe compostado ao solo degradado foi determinante para o acréscimo da biomassa microbiana e da respiração basal do solo, não sendo evidenciados efeitos inibitórios e/ou negativos na comunidade microbiana do solo.

O lodo de curtume de couro de peixe compostado apresentou maior taxa de degradação nos primeiros 90 dias, correlata aos aumentos da biomassa microbiana e respiração basal.

Os sais contidos no lodo de curtume compostado aumentaram a condutividade elétrica do solo, no entanto não foram excessivos e não interferiram no metabolismo microbiano.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorrizas em solos de cerrado com diferentes usos. *Ciência Agrotécnica*, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (q_{CO_2}) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental-conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 42, p. 2039-2043, 2010.
- ANDRADE, F. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Atividade microbiana em solos sob doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial. *Ciência Rural*, v. 46, n. 2, p. 267-272, 2016.
- AQUINO NETO, V. & CAMARGO, O. A. Crescimento e acúmulo de cromo em alface cultivada em dois latossolos tratados com CrCl₃ e resíduos de curtume. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 24, p. 225-235, 2000.
- ARAÚJO, A. S. F. & MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. *Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas (SP), Instituto Agrônomo, novembro 2009. 77 p. Boletim técnico, 106, edição revista e atualizada.
- CARDOSO, E. J. B. N. & FORTES NETO, P. Aplicabilidade do biossólido em plantações florestais: alterações microbianas no solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Org.) *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000, p. 197-202.
- CAVALLET, L. E & SELBACH, P. A. Populações Microbianas em solo agrícola sob aplicação de lodos de curtume. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, n. spe., 2008.

- COSTA, C. N.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; KONRAD, E. E.; PASSIANOTO, C. C.; RODRIGUES, C. G. Efeito de adição de lodo de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 7, n. 3, p.189-191, 2001.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. I. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 913-923, 2002.
- DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, v. 39, p. 25-37, 1996.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A.A. Atributos químicos e microbianos d e solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1521-1530, 2008.
- GODECKE, M. V.; RODRIGUES, M. A. S.; NAIME, R. H. Resíduos de curtumes: estudo das tendências de pesquisa. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 7, n. 7, p. 1357-1378, 2012.
- GUPTA, A. K. & SINHA, S. Phytoextraction capacity of the plants growing on tannery sludge dumping sites. *Bioresource Technology*, v. 98, n. 12, p. 1788-1794, 2007.
- JOSAN, M. S.; NAIR, V. D.; HARRIS, W. G.; HERRERA, D. Associated release of magnesium and phosphorus from active and abandoned dairy soils. *Journal of Environmental Quality*, v. 34, p. 184-191, 2005.
- KONRAD, E. E. & CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrente da adição do lodo de curtume. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 257-265, 2002.
- KRAY, C. H.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; SILVA, K. J. Tannery and coal mining waste disposal on Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n.spe, p. 2877-2882, 2008.
- LAMBAIS, M. R.; CURY, J. C.; MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; BULL, R. C. Diversidade microbiana nos solos: definindo novos paradigmas. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P., CARDOSO, E. J., orgs. 2005. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 43-84, 2005.
- LÓPEZ-LUNAA, J.; GONZÁLEZ-CHÁVEZB, M. C.; ESPARZA-GARCÍA, F. J.; RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, R. Toxicity assessment of soil amended with tannery sludge, trivalent chromium and hexavalent chromium, using wheat, oat and sorghum plants. *Journal of Hazardous Material*, v. 163, n. 2-3, p. 829-834, 2009.
- MAHAPATRA, K.; RAMTEKE, D. S.; PALIWAL, L. J.; NAIK, N. K. Agronomic application of food processing industrial sludge to improve soil quality and crop productivity. *Geoderma*, v. 207-208, p. 205-211, 2013.
- MARSCHNER, H.; KIRKBY, E. A.; ÇAKMAK, I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, v. 47, n.spe, p. 1255-1263, 1996.
- MENDOZA, B.; FLORENTINO, A.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R. M.; ACIEGO, J.; TORRES, D.; VERA, E. Atributos biológicos de dos suelos de Quibor com aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Texcoco, v. 4, n. 3, p. 409-421, 2013.
- MERCANTE, F. M.; FABRICIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; SILVA, W. M. *Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária*. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, v. 20, 27f, 2004.
- MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, J. E. (Ed.). *Fundamentos de química do solo*. 2. Ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 131-179.

- NAKATANI, A. S.; MARTINES, A. M.; NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Changes in the genetic structure of Bacteria and microbial activity in an agricultural soil amended with tannery sludge. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 43, n. 1, p. 106-114, 2011.
- NAKATANI, A. S.; NOGUEIRA, M. A., MARTINES, A. M.; SANTOS, C. A.; BALDESINA, L. F.; MARSCHNER, P.; CARDOSO, E. J. B. N. Effects of tannery sludge application on physiological and fatty acid profiles of the soil microbial community. *Applied Soil Ecology*, v. 61, p. 92–99, 2012.
- OLIVEIRA, D. Q. L.; CARVALHO, K. T. G.; BASTOS, A. R. R.; DE OLIVEIRA, L. C. A.; DE SA E MELO MARQUES, J. J. G.; PEREIRA DO NASCIMENTO DE MELO, R. S. Utilização de resíduos da indústria de couro como fonte nitrogenada para o capim elefante. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 32, n. 1, p. 417–424, 2008.
- POSSATO, E. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; WEBER, O. L. S.; NASCENTES, R.; BRESSIANI, A. L.; CALEGARIO, N. Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 38, n. 5, p. 847-856, 2014.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 19, p. 159-164, 1997.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; SANTOS, J.C.F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.163-198.
- SANTOS, J. A.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J.; ARAUJO, A. S. F. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass in two different soils. *European Journal of Soil Biology*, v. 47, n. 1, p. 146-151, 2011.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. *Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)*. Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico 98. Rio de Janeiro, 2007a.
- _____. *Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)*. Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico 99, Rio de Janeiro, 2007b.
- SILVA, J. D. C.; LEAL, T. T. B.; ARAÚJO, A. S. F.; ARAÚJO, R. M.; GOMES, R. L. F.; MELO, W. J.; SINGH, R. P. Effect of different tannery sludge compost amendment rates on growth, biomass accumulation and yield responses of Capsicum plants. *Waste Management*, v. 30, n. 10, p. 1976–1980, 2010.
- SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- SOUZA, C. A.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, p. 1319-1327, 2009.
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.
- TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio sólido industrial e cultivo de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 5, p. 1173-1184, 2007.