

II-127 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E POTENCIAL AGRONÔMICO DE BÍOSSÓLIDOS RESULTANTES DE HIGIENIZAÇÃO POR DIFERENTES PRODUTOS QUÍMICOS

Ivaldete Tijolin Barros⁽¹⁾

Bióloga pela Unipar. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professora do Grupo Educacional Uniesp e Gestora Ambiental da Sanepar.

Cleverson Vitorio Andreoli⁽²⁾ Eng^o Agr^o. Mestre em Ciência do Solo e Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela UFPR. Eng^o de Pesquisa da Sanepar, Professor do Programa de Mestrado em Governança e Sustentabilidade do ISAE.

Antonio Carlos Saraiva da Costa⁽³⁾, Eng^o. Agr^o. Ph.D. em Agronomia. The Ohio State University. Professor Associado C. Universidade Estadual de Maringá.

Endereço⁽¹⁾: Rua Piuna, 4049 - Centro - Umuarama - PR - CEP: 87.501-050 - Brasil - Tel: (44) 3621 – 1300 - e-mail: ivaldetetb@gmail.com ou ivaldetetb@sanepar.com.br

RESUMO

A reciclagem agrícola de lodos de esgotos é uma tendência mundial, que exige a observação de parâmetros de segurança ambiental e sanitária. O presente trabalho objetivou avaliar o potencial de higienização do lodo de esgoto anaeróbico, as características físico-químicas e o potencial agronômico do lodo de esgoto higienizado pelo processo convencional de caleação (adição de cal virgem) e por diferentes produtos químicos, entre eles: hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio e os ácidos orgânicos: acético e peracético. Os ácidos orgânicos foram eficientes na inativação dos coliformes fecais, destruindo 99,99% dos microorganismos rapidamente, em menos de 30 minutos, nas dosagens 230, 460 e 920 mg L⁻¹ de ácido peracético e 11.000 mg L⁻¹ de ácido acético. Porém, na destruição dos ovos de helmintos a eficiência dos ácidos foi inferior ao tratamento alcalino, chegando a 88,08% com o ácido peracético na dosagem de 920 mg L⁻¹. A caleação foi eficiente na higienização do lodo destruindo 99,99% dos coliformes fecais e 100% dos ovos de helmintos. Por meio deste tratamento o biossólido alcançou o padrão da IN-IAP de um ovo viável a cada 4g de MS, tornando-se apto para utilização com insumo agrícola. Os lodos tratados com os ácidos orgânicos foram posteriormente neutralizados utilizando-se pequenas doses de cal virgem. Foram realizadas análises físicas e químicas nos lodos. A higienização pela caleação elevou o pH do lodo e a concentração de cálcio e magnésio, contudo provocou a diminuição dos demais nutrientes. A avaliação dos produtos alternativos mostrou que o peróxido de hidrogênio causou excessiva perda de nitrogênio, o hipoclorito de sódio elevou a concentração de sódio e os ácidos orgânicos não interferiram na disponibilidade de nutrientes do lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, potencial de higienização, atributos químicos, potencial agronômico.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda da sociedade e das agências ambientais por melhores padrões de qualidade ambiental estimula a sociedade à adoção de práticas sustentáveis. Avaliando a tendência de crescimento dos índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário, Bettiol & Camargo (2006) mostraram que haverá um crescimento proporcional da produção de lodo de esgoto. Isto, aliado às previsões de aumento populacional e à crescente concentração urbana no mundo inteiro, determina necessidade de ações políticas que viabilizem alternativas para tratar resíduos domésticos de forma eficiente, especialmente através da reciclagem, evitando contaminações como a poluição de rios e nascentes.

Em qualquer tipo de tratamento utilizado para o esgoto há produção de um subproduto denominado “lodo” contendo entre 40 a 80% de matéria orgânica. O tratamento e a disposição final do lodo de esgoto é um processo problemático e oneroso. Em virtude do alto custo de gerenciamento do lodo e face às novas perspectivas globais de desenvolvimento sustentável, os processos de reciclagem têm sido amplamente favorecidos e suscitam pesquisa e aplicação de soluções como a reciclagem agrícola (Andreoli et al., 2001).

O uso de lodos de esgoto na agricultura é de grande importância devido ao seu potencial como condicionador químico do solo. A reciclagem agrícola tem sido considerada a melhor opção de disposição final do bio sólido em todo o mundo, por contribuir para fechar o ciclo dos nutrientes minerais (Andreoli et al., 2001).

O lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos químicos e agentes biológicos indesejáveis do ponto de vista ambiental. Os metais pesados devem ser constantemente monitorados em função dos riscos de contaminação do homem, animais e plantas. Por se tratar de um resíduo do tratamento de esgoto sanitário proveniente da atividade humana, diversos patógenos podem contaminar o lodo e disseminar doenças.

A higienização assume importância prioritária para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto, porque nele estão concentrados agentes patogênicos oriundos dos esgotos, que durante o tratamento co-precipitam e permanecem adsorvidos aos flocos orgânicos. Esses microrganismos tanto podem ser úteis nos processos de liberação de nutrientes ao complexo solo/planta, como podem ser agentes patogênicos, como bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos (Andreoli et al., 2001).

Os fatores que se destacam como os mais eficazes desinfetantes do lodo de esgoto são: a temperatura, o pH e a radiação. Em determinadas condições ambientais estes fatores apresentam faixas em que os organismos se mantêm presentes ou em desenvolvimento no lodo, e se este equilíbrio for quebrado os organismos são destruídos. Organismos expostos a níveis extremos de pH, seja ácido ou alcalino, tem grande dificuldade de sobrevivência (Ilhenfeld et al., 1999a).

A utilização agrícola do lodo deve ser vinculada aos resultados das análises dos parâmetros de qualidade do produto. Uma vez que a composição do lodo pode variar em função das características do esgoto precursor, do sistema de tratamento (aeróbio ou anaeróbio) e do processo de higienização adotado. Estas variações devem ser mensuradas a fim de assegurar qualidade e viabilidade do produto a ser utilizado na agricultura, e as possíveis restrições de uso que deverão ser estabelecidas e observadas (Pegorini, 1999). Seu manejo inadequado pode contribuir para a degradação da qualidade ambiental, podendo se tornar produtos poluentes do solo, da água, do ar e ainda oferecer riscos à saúde pública (Filho, 1999).

Este trabalho avaliou a eficiência de higienização do lodo de esgoto pelo tratamento convencional de caleação (adição de cal) e de tratamentos alternativos, entre eles: hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio e os ácidos orgânicos: acético e peracético, visando à inativação dos agentes patogênicos em lodo de esgoto anaeróbio. Assim como avaliar os atributos químicos e o potencial agrônomo do bio sólido resultante da higienização.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado bio sólido proveniente de tratamento biológico contendo um reator do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que recebe e trata esgoto essencialmente doméstico, pelo processo anaeróbio. Os tratamentos avaliados com a finalidade de eliminar ou reduzir os patógenos foram: o convencional, com cal virgem dolomítica (CaO/MgO) com óxido de cálcio entre 65 e 58% do total, e os considerados alternativos, utilizando os ácidos orgânicos: acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_3$) e peracético (CH_3COOOH), hipoclorito de sódio (NaClO) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Para a caleação foi utilizada cal virgem dolomítica no lodo de esgoto anaeróbio semidrenado com 33% de umidade. A caleação foi efetuada 120 dias antes da aplicação do lodo ao solo. Após este período o lodo caleado foi secado ao ar e peneirado para incorporação ao solo, em proporção ao teor de sólidos do lodo (Tabela 1).

Os demais tratamentos receberam os produtos químicos no lodo líquido com 98% de umidade, a temperatura ambiente e submetidos a um tempo de contato de 30 min. Para determinação das doses dos produtos químicos utilizados na higienização do lodo, levou-se em consideração trabalhos publicados de outros autores (Fraser et al., 1984; Sánchez-Ruiz et al., 1995; Andreoli et al., 2001).

As características parasitológicas e microbiológicas do lodo foram analisadas segundo preconiza a norma técnica preliminar paranaense (SANEPAR, 1997) que define a quantidade máxima de ovos de helmintos viáveis e coliformes fecais, em função da alta resistência destes organismos aos tratamentos convencionais.

Tabela 1: Doses de produtos químicos aplicados visando a higienização e neutralização de acidez do lodo de esgoto.

TRAT.	PRODUTO APLICADO	DOSE
TEST	Lodo sem tratamento	-
CAL	Lodo caleado (CaO / MgO)	30% M.S. do lodo
APA5N	Lodo tratado com ácido peracético	230 mg L ⁻¹
APA5C	Lodo tratado com ácido peracético e cal	230 mg L ⁻¹ , 0,32% cal
APA10N	Lodo tratado com ácido peracético	460 mg L ⁻¹
APA10C	Lodo tratado com ácido peracético e cal	460 mg L ⁻¹ , 2,9% cal
APA20N	Lodo tratado com ácido peracético	920 mg L ⁻¹
APA20C	Lodo tratado com ácido peracético e cal	920 mg L ⁻¹ , 6,45% cal
AA22N	Lodo tratado com ácido acético	11.000 mg L ⁻¹
AA22C	Lodo tratado com ácido acético	11.000 mg L ⁻¹ , 16,7% cal
HCS	Lodo tratado com hipoclorito de sódio	2.500 mg L ⁻¹
PH	Lodo tratado com peróxido de hidrogênio	300 mg L ⁻¹

A determinação de ovos de helmintos foi realizada através do método proposto por Yanko (1987), e modificado por Tomaz-Soccol (1998). A contagem de coliformes foi feita pela técnica de tubos múltiplos que é recomendada no *Standart Methods for Examination of Water and Wasterwater* para lodos (AWWA, 1996).

Os lodos de esgotos tratados com os ácidos orgânicos (acético e peracético) apresentaram pH entre 4,2 e 6,1. Para proceder à neutralização o lodo foi parcialmente desidratado em leito de secagem, até alcançar um teor de sólido total próximo de 15%. Foram separadas amostras dos vários tratamentos aos quais foram aplicadas diferentes doses de cal virgem dolomítica. Após a determinação da dose de cal necessária para a neutralização de cada tratamento, a cal foi aplicada ao lodo, levando-se em consideração seu teor de sólidos totais e em comparação com o teor de sólido da amostra de determinação (Tabela 2); após a incorporação da cal ao lodo aguardou-se um período de cinco dias necessários a estabilização do pH, em virtude das reações de químicas de neutralização.

Tabela 2: Doses de cal utilizada na neutralização do lodo de esgoto anaeróbio higienizado com ácidos orgânicos.

Doses de cal virgem comum (CaO/MgO) g ⁻¹ 100 g de lodo tratado				
TRAT.	APA - 05	APA - 10	APA - 20	AA - 22
Cal	0,02	0,2	0,4	0,6

As amostras do biossólido foram analisadas no Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos-LCRR do Departamento de Agronomia da UEM. A preparação dos extratos foi realizada pela abertura das amostras por via úmida, através de digestão sulfúrica para a determinação do teor de nitrogênio (N), e digestão nítrico-perclórica para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), chumbo (Pb), e sódio (Na).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, através da análise de regressão utilizando as rotinas de software SAS, no nível de 1%. Sempre que o teste F detectou diferença significativa entre tratamentos para as variáveis, procedeu-se ao desdobramento dos graus de liberdade em contrastes ortogonais. Para o fator tratamento, sempre que foi detectada diferença significativa, também se procedeu ao detalhamento da análise através do teste de agrupamento Scott-Knott, considerando-se 5% como nível mínimo de significância (Scott & Knott, 1974).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EFICIÊNCIA SOBRE A REDUÇÃO DE COLIFORMES

A densidade média inicial de coliformes totais para o biossólido utilizado foi de $3,55 \times 10^8$ NMP 100 mL⁻¹ e de $5,9 \times 10^7$ NMP 100 mL⁻¹ para coliformes fecais (Tabela 3).

Tabela 3: Valores de pH final do lodo, dose de produto químico, densidade de coliformes totais e fecais (inicial e final) e Log. de unidade inativadas.

Trat.	pH final	Dose do produto químico	C. totais inicial NMP 100 mL ⁻¹	C. totais final NMP 100 mL ⁻¹	Log. unidades inativadas	C. fecais inicial NMP 100 mL ⁻¹	C. fecais final NMP 100 mL ⁻¹	Log. unidades inativadas
HCS	6,8	2.500 mg L ⁻¹	$5,0 \times 10^7$	$1,8 \times 10^4$	3,44	$1,5 \times 10^7$	$2,2 \times 10^2$	4,83
PH	6,8	300 mg L ⁻¹	$5,0 \times 10^7$	$1,6 \times 10^7$	0,49	$1,6 \times 10^7$	$1,6 \times 10^7$	0,0
APA 5	6,1	230 mg L ⁻¹	$3,55 \times 10^8$	$< 2 \times 10^2$	6,25	$5,9 \times 10^7$	$< 10^2$	5,77
APA 10	4,8	460 mg L ⁻¹	$3,55 \times 10^8$	< 10	7,55	$5,9 \times 10^7$	< 10	6,77
APA 20	4,4	920 mg L ⁻¹	$3,55 \times 10^8$	< 10	7,55	$5,9 \times 10^7$	< 10	6,77
AA 22	4,2	11.000mg L ⁻¹	$3,55 \times 10^8$	< 10	7,55	$5,9 \times 10^7$	< 10	6,77
CAL	12,9	30% MS	$5,0 \times 10^7$	$< 2 \times 10^2$	5,39	$1,5 \times 10^7$	$< 2 \times 10^2$	4,87

O tratamento com hipoclorito de sódio apresentou também alto índice de inativação chegando a 4,83 unidades logarítmicas, se mostrando eficiente para destruição de coliformes fecais, na dosagem testada, chegando a uma densidade final que variou de $4,0 \times 10^2$ a 40 NMP/100 mL de lodo.

Deve-se salientar que o uso do cloro na desinfecção de águas residuárias com grandes quantidades de compostos orgânicos tem sido relatado como não viável, na literatura, por gerar a formação de compostos de origem orgânica, suspeitos de causar problemas à saúde da população. Apesar da cloração ser o principal meio de desinfecção de água para o consumo humano há indícios de que esteja associada à formação de trihalometanos, que são compostos indesejáveis, por serem prováveis cancerígenos (EPA, 1992).

O peróxido de hidrogênio mostrou baixo poder de inativação de coliformes totais e fecais, na dose testada (300 mg L⁻¹), apesar de ser um forte esporicida, que segundo Baldry (1995), tem a ação esporicida obtida em solução contendo 0 - 88 mol L⁻¹. Os resultados mostram que a baixa eficiência do peróxido de hidrogênio se deve ao alto poder de tamponamento do lodo associado à baixa dose do produto utilizada.

O ácido peracético (APA) aplicado nas doses de 460 mg L⁻¹ e 920 mg L⁻¹ chegou a 99,99% de inativação de coliformes totais e fecais, com 7,55 e 6,77 unidades logarítmicas inativadas, respectivamente, resultando numa concentração final inferior a 10 NMP 100 mL⁻¹. Com estes resultados cumpriu o limite de restrição de uso do biossólido, estabelecido pela IN-IAP de 10^3 NMP g⁻¹ de MS.

O ácido acético (AA), na dose de 11.000 mg L⁻¹, alcançou o índice de inativação de coliformes totais e fecais de 7,55 e 6,77 unidades logarítmicas, respectivamente. Resultando numa concentração final inferior a 10 NMP 100 mL⁻¹ de coliformes totais e fecais, apresentando 99,99% de eficiência na destruição dos microorganismos e alcançando também o limite de restrição para uso do biossólido de acordo com a IN-IAP.

Os resultados encontrados para os ácidos orgânicos estão de acordo com os dados da literatura e a eficiência do APA coincide com o reportado por Sánchez-Ruiz et al. (1995), Barrios et al. (2002), e Gonzáles et al. (2002), pelo grande poder de destruição dos microorganismos e pela rápida reação necessitando apenas 10 minutos para inativação de coliformes totais e fecais. Como prenunciada por estes autores a eficiência dos ácidos depende do pH do lodo, apresentando melhores índices de inativação em condições ácidas.

O pH do lodo afeta de maneira direta a destruição e o recrescimento de microorganismos, aparentemente desnaturando as enzimas e impedindo a sobrevivência deles em pH abaixo de 4 unidades (Barrios et al., 2000). No presente trabalho, observou-se um grande poder de destruição dos microorganismos, quando o pH baixou de 6 unidades. Confirmando a hipótese de que a atividade antimicrobiana dos ácidos orgânicos é maior em condições ligeiramente ácidas.

A caleação (CAL) apresentou inativação de 5,39 e 4,87 unidades logarítmicas de coliformes totais e fecais, respectivamente. Como resultado tem-se um biossólido com < 200 NMP 100 mL⁻¹, muito abaixo do limite de uso restrição do IN-IAP, para biossólidos (Tabela 3).

EFICIÊNCIA SOBRE A INATIVAÇÃO DE HELMINTOS

A tabela 4 apresenta a média dos ovos de helmintos viáveis e inviáveis, de acordo com os tratamentos realizados. Os tratamentos HCS e PH se mostraram pouco eficiente na destruição dos ovos de helmintos. Apresentando baixo poder de destruição dos ovos de helmintos, com índice porcentagem de inativação de 70,94 e 73,96 respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4: Contagem, viabilidade e inativação de ovos de helmintos, no lodo de esgoto anaeróbio tratado com diferentes produtos químicos.

Tratamento	Nº de ovos g ⁻¹ de MS	Viabilidade %	Ovos viáveis g ⁻¹ de MS	Inativação %
TEST.	56,20	41,37	23,25	58,63
HCS	28,77	29,06	8,36	70,94
PH	28,77	32,06	7,49	73,96
APA 5	31,24	35,83	11,26	79,96
APA 10	41,34	24,78	10,06	82,09
APA 20	30,64	21,78	6,70	88,08
AA 22	49,77	37,96	18,89	66,39
CAL	0	0	0	100

Para a inativação de ovos de helmintos observou-se que os tratamentos APA5 e AA22, também apresentaram baixa eficiência. Os tratamentos APA10 e APA20 mostraram alguma diminuição na porcentagem dos ovos viáveis, mas, foi o tratamento CAL que chegou ao percentual 0 (zero) de ovos viáveis.

O ácido acético (AA) foi aplicado em dose de 11.000 mg L⁻¹ e apresentou pequena eficiência na inativação dos ovos de helmintos, o percentual de inativação chegou a 66,39% dos ovos presentes. O ácido peracético (APA) nas dosagens de 230, 460 e 920 mg L⁻¹, os resultados encontrados ficaram abaixo daqueles reportados na literatura. Fraser et al. (1984), relataram resultados de 99% de inibição da incubação e 100% de destruição na viabilidade dos embriões de cestóides suspensos no lodo cru e digerido, com doses de APA que variaram de 250 mg L⁻¹ a 1000 mg L⁻¹ do lodo. No presente trabalho a inibição de incubação, foi verificada em 88,08% dos ovos com a dose de APA de 920 mg L⁻¹ e dos 30,64 ovos g⁻¹ MS, presentes no lodo, 6,70 permaneceram viáveis após o tratamento.

O lodo caleado também foi avaliado em seus aspectos parasitológicos, a caleação mostrou-se mais uma vez ser um meio eficiente de higienização de lodo de esgoto com alto conteúdo microbial, como neste caso. Pela caleação foram alcançados 100% de destruição dos ovos de helminto presentes no lodo, conforme (Tabela 4). Sendo o único tratamento que alcançou o limite de segurança, para a reciclagem agrícola, estabelecido pelo IN de IAP de 0,25 ovos viáveis g⁻¹ MS.

A cal age na inativação dos patógenos pelo choque alcalino e pela elevação de temperatura, e geração de amônia que cria um ambiente inóspito para a sobrevivência da maioria dos agentes patogênicos. A cal causa ainda uma alteração significativa na concentração de sais do lodo, aumentando a pressão osmótica, fatores que dificultam a absorção de água e contribuem para a morte das estruturas de resistência. Como resultado tem-se um lodo esterilizado já que os patógenos e organismos indicadores geralmente são eliminados e os remanescentes estão inviáveis, garantindo a eficiência do processo. A higienização de lodos pela cal (CaO/MgO) apresenta alta confiabilidade porque a ação secante da cal desidrata o lodo, forma alguns compostos estáveis, os ácidos presentes são neutralizados e os patógenos são eliminados (MENDEZ, 2003).

Vários estudos mostram que a mistura de lodo com dosagens de cal virgem entre 30% e 50% do conteúdo de sólidos totais da massa bruta são capazes de alcançar níveis de sanidade abaixo dos limites definidos pela IN-IAP quando associadas a um período de estocagem de pelo menos 30 dias (OOSRSCHOT et al., 2000; ANDREOLI et al., 1999; EPA, 1992).

Pesquisas realizadas durante programa de pesquisas coordenado pela Sanepar (THOMAZ-SOCCOL et al., 2001; FERNANDES et al., 1996) apontaram a necessidade de estocagem da mistura lodo-cal por períodos entre 30 e 60 dias para garantir a inviabilização dos ovos de helmintos a níveis compatíveis com a IN-IAP (0,25 ovos viáveis g⁻¹ MS), limite compatível com os mais rigorosos adotados na CEE e EUA.

NEUTRALIZAÇÃO DO LODO TRATADO COM ÁCIDOS ORGÂNICOS

O lodo de esgoto tratado com os ácidos orgânicos apresentou queda de pH de 6,5 para o intervalo de 6,1 e 4,2 (Tabela 5). A cal foi aplicada visando a neutralização da acidez, e o pH do lodo estabilizou e permaneceu em 6,5 e 6,7.

O pH é um importante fator a ser monitorado no lodo higienizado, visando a reciclagem agrícola, visto que, a disponibilidade de metais depende do pH, em meio ácido os metais potencialmente tóxicos podem ser absorvidos pelas plantas ou ficarem disponíveis no ambiente em quantidade que apresentam riscos (Bettiol & Camargo, 2006).

Tabela 5: Neutralização do lodo tratado com ácidos orgânicos; pH inicial, doses de cal usadas
CaO/MgO g 100g⁻¹ de lodo de esgoto, % de cal e pH final do lodo de esgoto.

Tratamento	pH inicial do lodo	Doses de cal CaO/MgO g 100 g ⁻¹ de lodo	Cal %	pH final do lodo
APA-05	6,1	0,02	0,32	6,5
APA-10	4,8	0,2	2,9	6,5
APA-20	4,4	0,4	6,45	6,7
AA- 22	4,2	0,6	16,7	6,5

De acordo com Bates (1964), o pH 7,5 é considerado neutro em temperatura de 0°C, porém em 60°C, a neutralidade é observada em pH 6,5, dependendo ainda da influência de sais presentes no meio. A temperatura exerce um efeito realmente significativo em pH de soluções de ácidos e bases fortes.

Segundo Mello et al. (1984), a faixa de pH em água que tem sido considerada excelente para a maioria das plantas cultivadas está entre 6,0 e 6,5. Fagéria (2001) recomenda cautela para não se ultrapassar os níveis recomendados de pH evitando-se desequilíbrios com efeitos depressivos sobre a produtividade de algumas culturas.

Para Costa et al. (2001), o pH influencia a fertilidade do solo, ao se relacionar com a disponibilidade e/ou indisponibilidade de elementos químicos nutrientes ou não, às plantas. Assim, o pH entre 6,5 e 7,0 reduz a disponibilidade de elementos como cobre, ferro, manganês, zinco e alumínio, além de metais pesados. Por outro lado, promove maior disponibilidade de boro, cálcio, cloro, enxofre, fósforo, magnésio, molibdênio, nitrogênio e potássio.

ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS LODOS UTILIZADOS

O lodo de esgoto digerido apresenta uma massa biológica rica e diversa já estabelecida (Haug, 1993). Sendo composto por sólidos e por água, os sólidos totais (ST) dividem-se em sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. No lodo, a grande maioria dos sólidos é representada por sólidos em suspensão. Com relação à matéria orgânica, os sólidos dividem-se em sólidos fixos ou inorgânicos (SF) e sólidos voláteis ou orgânicos (SV) (Andreoli et al., 2001). A grande fração de sólidos orgânicos é putrescível e facilmente biodegradável (Von Sperling & Gonçalves, 2001).

Segundo Haug (1993), os sólidos voláteis são a massa com potencial real de biodegradação. Assim, a relação entre os sólidos voláteis e os sólidos fixos dá uma boa indicação da fração orgânica dos sólidos do lodo, bem como do nível de digestão do lodo. Na Tabela 6 estão os valores de sólidos totais (voláteis e fixos), onde se observa que, o hipoclorito de sódio alcançou maior porcentagem de destruição da fração orgânica do lodo, e os ácidos orgânicos levaram a um pequeno incremento na destruição dos sólidos voláteis.

Tabela 6: Porcentagem (%) de sólidos totais do lodo de esgoto e os percentuais de sólidos fixos e voláteis dos sólidos em suspensão.

Tratamentos	% de Sólidos Totais do Lodo	Sólidos em Suspensão	
		% S. Fixos	% S. Voláteis
TEST	2,07	33,94	66,06
APA	1,67	34,66	65,34
AA	1,12	34,56	65,44
HCS	1,94	47,39	52,61
PH	1,21	32,93	67,07

A adição de produtos químicos visando à higienização do lodo alterou a composição química do bio-sólido final e influenciou no pH do lodo (Tabela 7). Enquanto os ácidos orgânicos determinaram acidez no lodo, a caleação promoveu a elevação do pH a 12,9.

Tabela 7: Propriedades químicas do lodo de esgoto sem tratamento e do lodo tratado com diferentes produtos químicos; pH e concentração de nutrientes.

TRAT.	pH	Ca+Mg	P	K	N
	H ₂ O				
			g Kg ⁻¹		
TEST	6,5	11,81	7,27	21,4	42
CAL	12,9	116,67	2,75	7,33	11
APA 5 N	6,1	9,17	6,35	15,78	42,5
APA 5 C	6,5	17,13	7,49	24,31	42,5
APA 10 N	4,8	8,43	8,69	13,3	47
APA 10 C	6,5	26,59	7,85	24,02	41
APA 20 N	4,4	7,12	9,03	11,36	22,5
APA 20 C	6,7	31,96	7,69	18,45	26
AA 22 N	4,2	6,6	6,2	15,06	46,5
AA 22 C	6,5	75,05	5,76	27,53	23
HCS	6,8	12,29	6,42	14,41	41
PH	6,8	13,34	6,79	16,9	7,5

Segundo Mader Neto et al. (2003), os fatores que intervêm no processo de desinfecção do lodo são a alteração da temperatura, a mudança do pH e a ação da amônia resultante de reações ocasionadas pelo aumento de temperatura e pH. A cal em contato com a água do lodo resulta em uma reação exotérmica. Assim, a higienização do lodo pela adição de cal preconizada pela EPA (1994) envolve a adição de quantidades suficientes de cal para alcançar e manter o pH 12 pelo período mínimo de 2 horas. Em trabalho de Passamani et al. (2000) foram observados níveis de pH acima de 12 em tratamentos com concentrações de cal, variando entre 20 e 60% (MS lodo).

Segundo Cherrington et al. (1991), os ácidos orgânicos são considerados surfactantes aniônicos agindo como desinfetantes rompedores de membrana celular. Para Roe et al. (2002), a inibição provocada por estes compostos é dependente de pH e vários fatores se combinam para formar os efeitos inibitórios dos ácidos orgânicos quando o pH extracelular é ácido.

De acordo com Freese et al. (1973), a atividade antimicrobiana dos ácidos orgânicos aumenta com a diminuição do valor de pH. Para Cherrington et al. (1991) é necessário que uma proporção maior de moléculas não dissociadas exista com a diminuição do valor de pH, assumindo que a molécula não dissociada que é o agente antimicrobiano.

A diminuição de nitrogênio (N) nos tratamentos que receberam cal mostra proporcionalidade às doses de cal aplicada (Figura 1). Pereira Júnior et al. (1997) avaliaram a higienização do lodo com cal virgem e observaram que houve elevação significativa dos valores de pH e Ca, além de redução do teor de N pelo desprendimento de amônia.

Segundo Andreoli & Carneiro (2002), a caleação promove aumento significativo de pH e temperatura e estas variáveis são as principais condicionantes das perdas de N relacionadas à intensidade de oxidação e

volatilização de NH_3 . Para Tisdale et al. (1985), a partir de pH 11 praticamente toda forma amoniacal solúvel de N está sob estado gasoso, e temperaturas acima de 45°C potencializam volatilizações de NH_3 , devido ao aumento na taxa de várias reações e na atividade da urease.

A drástica redução na concentração de fósforo (P) observada na caleação do lodo está de acordo com o relatado por Deschamps & Favaretto (2001), de que algumas formas de tratamento do lodo como a caleação podem reduzir a disponibilidade do P contido no resíduo. Segundo Sanepar (1999), um lodo de esgoto, digerido anaerobiamente e caleado, geralmente apresenta teores médios aproximados de 2,2 Kg de P por tonelada e 1,5% de N (15 Kg de N/t) por tonelada de matéria seca. Entretanto, segundo Berton et al. (1989), o P contido no lodo tem pronta disponibilidade, pelo fato do mesmo apresentar baixa relação C/P e de o nutriente, em lodo digerido anaerobiamente, apresentar-se predominantemente na forma mineral.

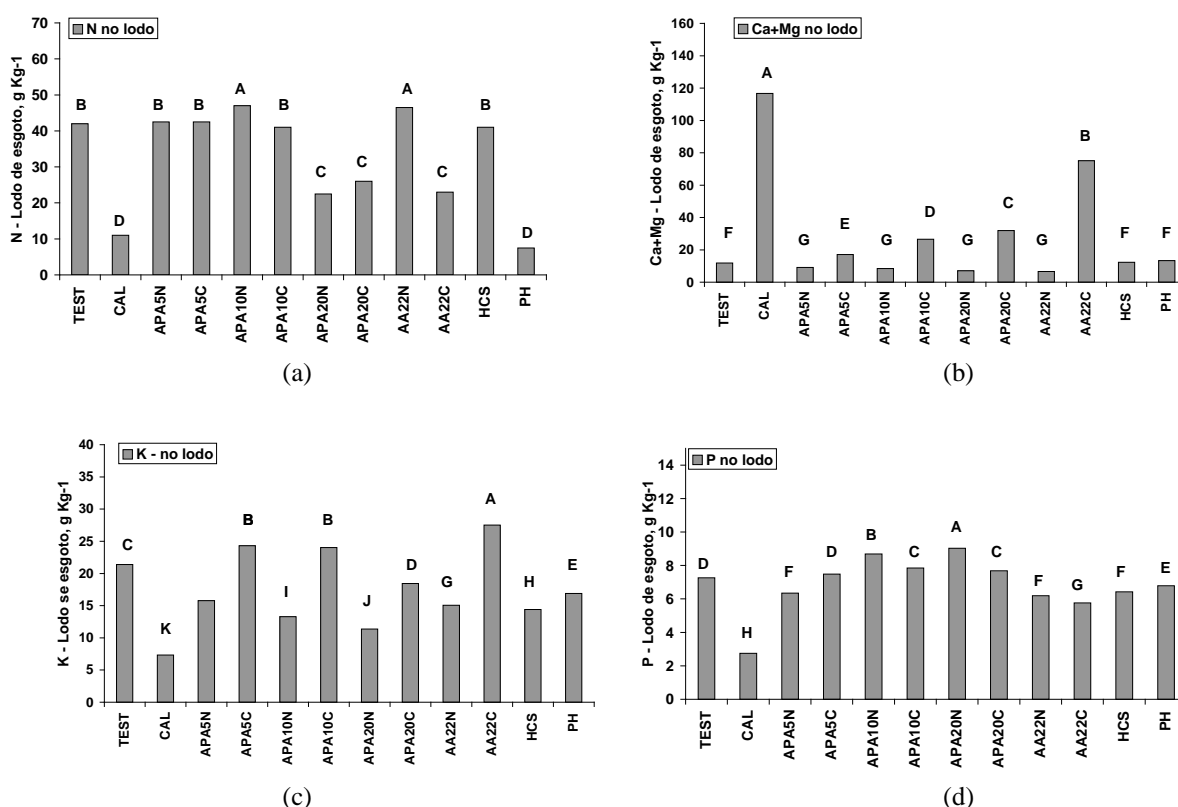


Figura 1. Teores de nitrogênio (a), cálcio+magnésio (b), potássio (c) e fósforo (d) no lodo de esgoto, com análise estatística dos dados, em classes de médias indicadas por letras (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K).

Os resultados obtidos para potássio (K) estão de acordo com Gonçalves et al. (2011), de que em geral os lodos de esgoto são pobres em K devido ao processo de obtenção que perde esse nutriente em solução no esgoto tratado. Porém, a elevada redução nos teores de K nos tratamentos que receberam grandes quantidades de cal evidencia que a adição de cal é desfavorável quando em doses maiores (Figura 1). De acordo com Andreoli & Carneiro (2002), a caleação promove alterações na dinâmica da maioria dos nutrientes em função da elevação do pH. Segundo SANEPAR (1999), após a caleação, há expressiva perda de N (em torno de 50%), e o lodo de esgoto apresenta teores médios de P e baixos de K.

Os resultados obtidos para a concentração de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) ficaram dentro do esperado, visto que, a cal apresentava uma concentração de 48,83% (CaO) e 35,80% (MgO), apresentando potencial de incremento nos teores de Ca+Mg nos tratamentos que receberam doses maiores de cal (Figura 1). A quantidade de Mg presente o lodo é suficiente para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo se aplicado em quantidades modestas. Este elemento está presente no lodo essencialmente na forma mineral (Sanepar 1999).

Segundo Ilhenfeld et al. (1999), em geral, o lodo de esgoto contém quantidades expressivas de cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), que são também metais pesados. No presente trabalho foi observado que a adição de cal no lodo aumentou as concentrações dos elementos Cu, Zn e Mn, quando utilizadas doses menores de cal e diminuição dos mesmos elementos conforme as doses foram aumentadas (Figura 2). Resultado condizente com Bonnet (2001), que encontrou concentrações menores de Cu, Fe e Mn no lodo alcalinizado utilizado como substrato para a produção de mudas espécies florestais.

O Na apresentou o maior valor de concentração no tratamento HCS como era esperado, e nos tratamentos que receberam a adição de cal para a neutralização também ocorreram aumentos do elemento (Figura 2).

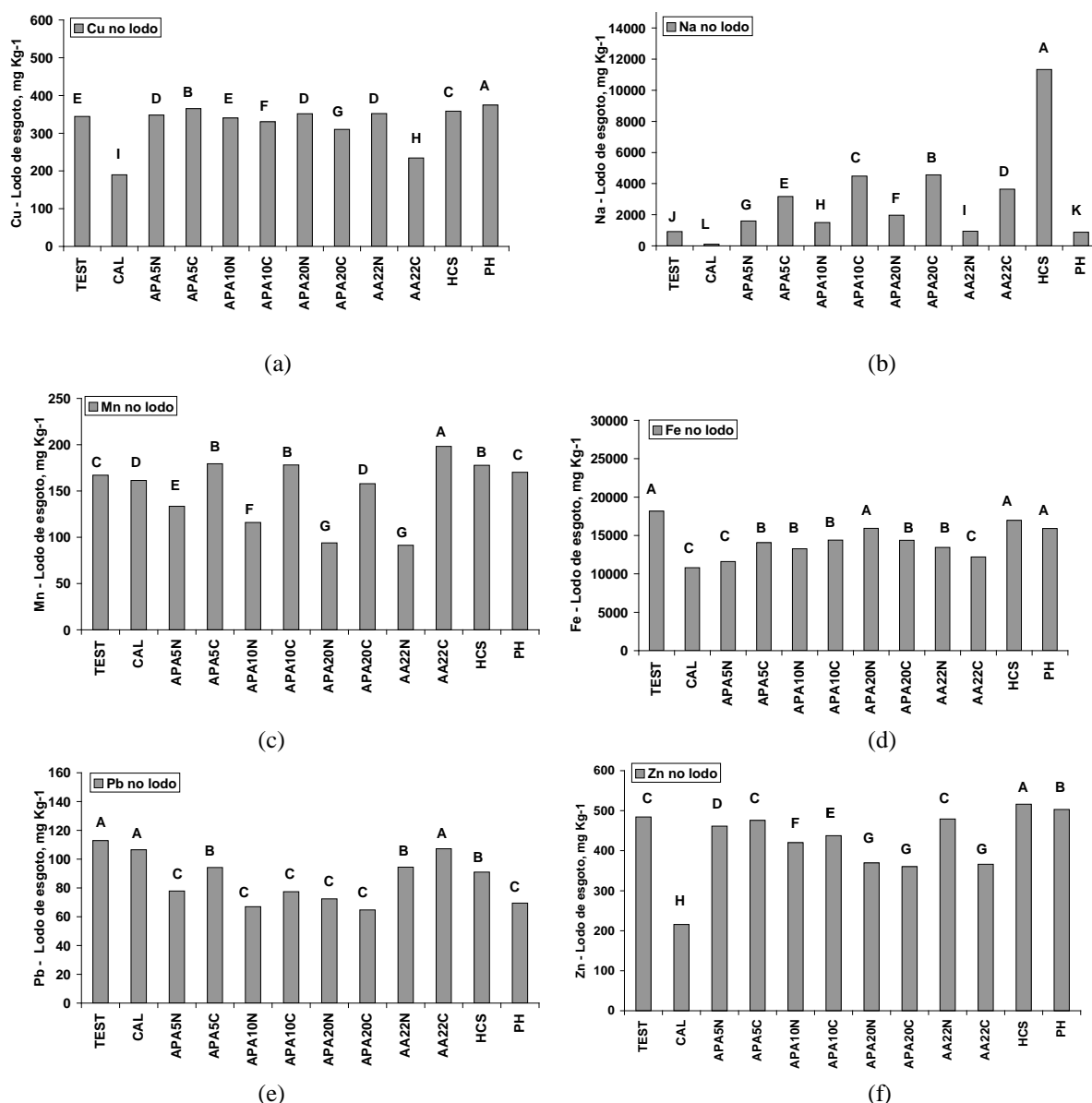


Figura 2. Teores de cobre (a), sódio (b), manganês (c), ferro (d), chumbo (e) e zinco (f) no lodo de esgoto, com análise estatística dos dados em classes de médias indicadas por letras (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K).

Os resultados obtidos mostram que os ácidos orgânicos não interferiram na disponibilidade dos nutrientes do lodo e corroboram Ceolato (2007), que considerou o lodo de esgoto como fonte de N, K, P, Ca, Mg e Zn para

a cultura da *Brachiaria decumbens* (Tabela 8). Também foram similares aos relatados por Pereira Júnior et al. (1997) e Barros et al. (2006), em que os metais pesados no lodo estiveram abaixo dos limites fitotóxicos.

Enquanto que os tratamentos que receberam cal virgem em grande quantidade coincidem com aqueles descritos por Costa & Krohling (1998), que avaliaram o efeito da adição de cal virgem na higienização do lodo de esgoto utilizado no desenvolvimento de *Coffea canephora*, e observaram aumento nos valores de pH, e dos elementos Ca+Mg e decréscimo nos valores dos demais nutrientes (Tabela 8).

Tabela 8: Concentração de micronutrientes e metais no lodo de esgoto sem tratamento e do lodo tratado com diferentes produtos químicos.

Trat.	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Na
	mg Kg ⁻¹					
TEST	17175,07	344,27	484,14	167,1	112,85	914,96
CAL	10812,47	189,71	215,62	161,34	106,52	110,58
APA 5 N	11616,00	347,84	461,33	133,37	77,855	1594,27
APA 5 C	14070,83	364,94	475,78	179,49	94,19	3177,32
APA 10 N	13258,61	340,21	420,25	115,93	67,01	1496,74
APA 10 C	14410,49	330,21	437,48	178,05	77,45	4489,21
APA 20 N	15923,22	351,72	369,43	93,98	72,46	1967,42
APA 20 C	14370,44	310,12	359,98	157,97	64,69	4559,47
AA 22 N	13454,41	352,11	479,14	91,41	94,39	945,25
AA 22 C	12195,22	234,44	366,31	198,13	107,18	3639,52
HCS	16968,35	358,57	516,31	177,81	90,99	11332,4
PH	15911,39	374,62	503,18	170,16	69,53	879,51

CONCLUSÕES

A caleação foi eficiente na inativação de coliformes fecais e ovos de helmintos. Como resultado, tem-se um biossólido com < 200 NMP coliformes fecais g⁻¹ MS e <0,25 ovos viáveis g⁻¹ MS, portanto, dentro dos padrões sanitários do IN-IAP.

O ácido peracético inativou 99,99% de coliformes fecais, nas doses de 230, 460 e 920 mg L⁻¹. Na destruição de ovos de helmintos alcançou 88,08% de eficiência com a dose de 920 mg L⁻¹, ao fim de 30 minutos de contato.

Com ácido acético obteve-se 66,39%, de inativação dos ovos de helmintos. Com relação aos coliformes fecais, chegou a 6,77 unidades logarítmicas ou 99,99% de inativação.

Os produtos alternativos propostos não foram eficientes para inviabilizar 100% dos ovos de helmintos, nas doses testadas. Não se alcançou o parâmetro sanitário, nas normas vigentes, que determinam a quantidade máxima de 0,25 ovos g⁻¹ MS.

É necessário realizar estudos adicionais com os ácidos orgânicos (acético e peracético) utilizando doses maiores ou produtos mais concentrados (puros) para melhor avaliar seu efeito sobre ovos de helmintos, pelo grande potencial biocida que representam e características como sua biodegradabilidade, facilidade de obtenção e manuseio assim como a inexistência de subprodutos tóxicos.

A caleação utilizada para a higienização do lodo interferiu nas características do biossólido, promovendo aumento de pH, dos elementos Ca e Mg e decréscimo nos valores dos demais nutrientes do biossólido.

Entre os produtos usados como alternativa de higienização: os ácidos orgânicos não interferiram na disponibilidade dos nutrientes do lodo, o peróxido de hidrogênio causou excessiva perda de N e o hipoclorito de sódio elevada concentração de Na.

Os metais pesados dos lodos estiveram abaixo dos limites de fitotoxidade, favorecendo a possibilidade de reutilização agrícola do mesmo. Alguns desses elementos são necessários ao desenvolvimento das plantas e o lodo pode agir como fonte de nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C. Avaliação do comportamento vertical de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal e pH em leiras de lodo de esgoto caledo. Sanare, Curitiba, v.18, n.18, p.63-70, 2002.
2. ANDREOLI, C.V., LARA, A.I., FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. 2.ed. Curitiba: Sanepar, Finep, 2001. 300p.
3. ANDREOLI, C.V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
4. BALDRY, M.G.C., CAVADORE, A., FREACH, M. S., MASSA, G., RODRIGUES, L.M., SCHIRCH, P.F.T. Y THERADGOLD, T.L. Effluente disinfection in warm climates with peracetic acid. Water, science and technology, v. 31, n.5-6, p. 161-164. 1995.
5. BARRIOS J. A., BLANCA J., GONZÁLEZ, O., SALGADO, G., SANABRIAL, ITURBE, R. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. In: CONGRESO NACIONAL, 2000. CIENCIA Y CONCIENCIA “COMPROMISO NACIONAL CON EL MEDIO AMBIENTE”, 12., 2000, Morelia. Anais... Morelia: Michoacán, 2000. p. 683-692.
6. BARRIOS, J. A., JIMENEZ, B., MAYA, C. Tratamiento ácido de lodos residuales fisicoquímicos para reducir el contenido de microorganismos. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. Anais... Cancún, México, 2002.
7. BARROS, I.T.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S. Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. Revista brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental, vol.15, n.6, p. 630-638, 2011.
8. BATES, R.G. Determination of pH - Theory and Practice. EUA, 1964. 435 p.
9. BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, p.187-192. 1989.
10. BETTIOL, W.; CAMARGO, A.O. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
11. BONNET, B.R.P. Produção de mudas de *Eucalyptus viminalis* Lambill. (Myrtaceae), *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) e *Mimosa scabrella* Benth. (Mimosaceae) em substrato com lodo de esgoto anaeróbico digerido alcalinizado e compostado. 2001. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
12. CEOLATO, L.C. Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo. 2007. 45p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2007.
13. CHERRINGTON, C.A., HINTON, M., MEAD, G.C.Y., CHOPRA, I. Organic acids: Chemistry, Antibacterial Activity and Practical Applications. Advances in Microbial Physiology, v.32, p.87-108, 1991.
14. COSTA, A.N.; COSTA, A.F.S.; MARQUES, M.O.; SANTANA, R.C. Estudo de caso – utilização de lodo de estações de tratamento de esgoto (ETEs) na cultura de mamoeiro no norte de estado de Espírito Santo. In: ANDRIOLI, C.V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de janeiro: Rima/ABES, 2001. 282p.
15. COSTA, A.N.; KROHLING, B. Efeito de higienização do lodo de esgoto com a cal virgem no desenvolvimento do cafeeiro *Coffea canephora*. In: Seminário sobre gerenciamento de biossólidos do mercosul, 1., 1998, Curitiba. Anais... Curitiba: Sanepar/ABES, p.285-289.1998.
16. DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito da aplicação do lodo de esgotos complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girasol. Sanare, Curitiba, v. 8, n.8, 1998.
17. ENIRONMENRAL PROTECTION AGENCY. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR Part 503. Washington: Office of Water, Office of Science and Technology Sludge/Risk Assessment Branch. USEPA/20460, 1992.
18. FAGÉRIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por bases em solo de Cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.3, p.416-424, 2001.
19. FERNANDES, F. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. Sanare, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 46-58.
20. FRASER, J.A.L.; GODFREE, A.F.; JONES, F. Use of peracetic acid in operational sewage sludge disposal to pasture. Water, Science and Technology, v.17, p.451-466, 1984.

21. FREESE, E., SHEU, C.W., GALLIERS, E. Function of lipophilic acids as ant microbial food additives. *Nature*, v.241, n.2, p.321-325, 1973.
22. FILHO, P.M. Reciclagem da matéria orgânica através da vermicompostagem. In: *Metodologia e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.31.
23. GONÇALVES, I.Z.; RIGO, M.M.; MADALÃO, J.C.; OLIVEIRA, L.B.; MARTINS, C.A.S.; GARCIA, G. Potencial de reuso agrícola do lodo de esgoto doméstico. *ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 13.; *ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO*, 9., 2011, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2011.
24. HAUG, R.T. *The practical Handbook of Composting Engineering*. United States of America: Lewis Publishers, 1993.
25. ILHENFELD, R.G.; ANDREOLI, C.A.; LARA, A.I. Higienização do Lodo de Esgoto. In: LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; IHLENFELD, R.G.K. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: Sanepar, Prosab. 1999a, 97p.
26. ILHENFELD, R.G.; PEGORINI, E.S., ANDREOLI, C.V. Fatores limitantes. In: LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; IHLENFELD, R.G.K. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: Sanepar, Prosab. 1999b, 97p.
27. LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; IHLENFELD, R.G.K. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: Sanepar, Prosab. 1999, 97p.
28. MADER NETTO, O.S.; ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C.; TAMANINI, C.R.; FRANÇA, M. Estudo das variações de pH no lodo caído em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade. *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 22., 2003, Joinville. Anais... Joinville: ABES, 2003.
29. MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.J.; COBRA NETTO, A; KIEHL, J.C. *Fertilidade do solo*. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984.
30. MENDEZ, J.M.C. *Estabilización alcalina de lodos con un elevado contenido de patogenos*. 2003. Tese (Doctorado en Ingeniera Ambiental) – DEPI-UNAM, Mexico, 2003.
31. OOSRSCHOT. Options for beneficial reuse of biosolids in Victoria. *Water, science and technology*, vol. 41, n. 8, p. 115-122, 2000.
32. PASSAMANI, F.R.F.; MOTTA, J.S.; FIGUEIREDO, K.F.; GONÇALVES, R.F. Higienização do lodo de um reator UASB com vistas a sua reciclagem na agricultura; *SILUBESA - SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 9., 2000, Porto Seguro. Anais... Porto Seguro: ABES, 2000, p.638-646.
33. PEGORINI, E.S. Planejamento da reciclagem agrícola do lodo. In: LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; IHLENFELD, R.G.K. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: Sanepar, Prosab, 1999.
34. PEREIRA JÚNIOR, A.B.; VALIM, M.C.A.; SOUZA, J.L.; GONÇALVES, R.F. Utilização de lodo gerado em processo anaeróbio tipo tanque Imhoff como insumo agrícola para a cultura do milho (*Zea mays L.*) In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 19., 1997, Foz do Iguaçu Anais... Foz do Iguaçu: ABES, 1997, p.462-474.
35. SÁNCHEZ-RUIZ, C., MARTÍNEZ-ROYANO, S., TEJERO-MONZÓN, I. An evaluation of the efficiency and impact of raw wastewater disinfection with peracetic acid prior to ocean discharge. *Water, Science and technology*, v.32, n.7, p.159-166, 1995.
36. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico PROSAB, Curitiba: Sanepar, 1999.
37. SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, v.30, p.507- 512, 1974.
38. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; PEATON, J.D.; HAVLIN J.L. *Soil fertility and fertilizers*. 5.ed., New York, 1985.
39. THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI, C.V; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (Org.). *Reciclagem de Biosólidos: Transformando Problemas em Solução*. 2. ed. Curitiba: Sanepar: Finep, 2001. p. 156-179.
40. VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R.F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Sanepar, 2001. 484p.