



Vol. 2, No. 1, 143-159, 2009  
ISSN 0718-378X

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ANÁLISE CRÍTICA DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA USO AGRÍCOLA DE LODOS DE ESGOTOS NA PERSPECTIVA DA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

Rafael Kopschitz Xavier Bastos<sup>1</sup>  
Paula Dias Bevilacqua<sup>2</sup>  
Graziele Menezes Ferreira Dias<sup>3</sup>  
Flávio José de Assis Barony<sup>4</sup>

*Critical analysis of the Brazilian legislation for  
agricultural use of sewage sludge to the assessment  
of quantitative microbiological risk*

### ABSTRACT

This paper discusses, under the perspective of Quantitative Microbial Risk analysis (QMRA), the standards established in the Brazilian legislation for the agricultural use of biosolids. Two exposure scenarios were investigated for application of classes A and B biosolids: (i) consumer's risk, arising from the consumption of leaf and root crops eaten raw; (ii) worker's risk, arising from the involuntary ingestion of particles of biosolids and biosolids amended soil. The results suggest that higher risks were associated with occupational risk (worker's risk) rather than consumer's risk, and regarding the considered pathogens, with the transmission of virus, followed by helminths, protozoa, and bacteria. It is speculated that the current version of the Brazilian legislation may be too strict for Class A biosolids, regarding both the microbial standards and applications' restrictions; moreover, just 'banning' the use of Class B biosolids may be too a stringent measure. It is also suggested that Class A helminth standard sounds too strict, but, on the other hand, Class B standard seems to be too lax. This work demonstrates the great potential of using QMRA for the assessment of risks related to agricultural use of biosolids. However, it is emphasized that better data on the occurrence and removal of pathogens in sewage sludge / biosolids, as well as about soil and crop contamination, are needed, so that more sound exposure scenarios, reflecting the Brazilian context, can be elaborated.

Keywords: Biosolids, consumers risk, pathogens, Resolução Conama 357/2006, workers risk.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil (UFJF), Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV).

<sup>2</sup> Médica Veterinária (UFV), Especialização em Epidemiologia (UFMG), Mestre em Epidemiologia (UFMG), Doutora em Epidemiologia (UFMG), Professora Adjunta, Departamento de Veterinária (UFV).

<sup>3</sup> Médica Veterinária (UFV), Mestre em Medicina Veterinária (UFV), Doutoranda em Medicina Veterinária (UFV).

<sup>4</sup> Biólogo (UNILESTEMG), Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental (UNILESTEMG), Mestrando em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil (UFV).

## ANÁLISE CRÍTICA DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA USO AGRÍCOLA DE LODOS DE ESGOTOS NA PERSPECTIVA DA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

Rafael Kopschitz Xavier Bastos<sup>1</sup>

Paula Dias Bevilacqua<sup>2</sup>

Grazielle Menezes Ferreira Dias<sup>3</sup>

Flávio José de Assis Barony<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Civil (UFJF), Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV).

<sup>2</sup> Médica Veterinária (UFV), Especialização em Epidemiologia (UFMG), Mestre em Epidemiologia (UFMG), Doutora em Epidemiologia (UFMG), Professora Adjunta, Departamento de Veterinária (UFV).

<sup>3</sup> Médica Veterinária (UFV), Mestre em Medicina Veterinária (UFV), Doutoranda em Medicina Veterinária (UFV).

<sup>4</sup> Biólogo (UNILESTEMG), Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental (UNILESTEMG), Mestrando em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil (UFV).

*Contact* Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil. Viçosa-MG, 36570-000. e.mail: [rkxb@ufv.br](mailto:rkxb@ufv.br)

### Resumo

O presente trabalho objetivou discutir, na perspectiva da Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), os padrões qualidade estabelecidos na Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006, para o uso agrícola de lodos de esgotos. Foram construídos dois cenários de exposição para o uso de biossólidos Classes A e B: (i) risco do consumidor, decorrente do consumo de olerícolas (folhosas e raízes) ingeridas cruas; (ii) risco do trabalhador, decorrente da ingestão involuntária de partículas de biossólidos ou de solo com incorporação de biossólidos. Os resultados sugerem que riscos mais elevados parecem estar mais relacionados à saúde ocupacional (risco do trabalhador) do que à saúde do consumidor e, dentre os patógenos considerados, à transmissão de vírus e, na seqüência, à de helmintos, protozoários e, por último de bactérias. Especula-se que a atual versão da legislação brasileira possa ser demasiadamente rigorosa para o padrão Classe A, tanto nos critérios de qualidade do lodo, quanto, principalmente, nas restrições de uso e que o 'banimento' do uso de lodo Classe B possa ser medida desnecessariamente rigorosa. Este trabalho reúne também sugestões, ainda que preliminares, que o padrão de helmintos para lodo Classe A possa ser muito restrito e que, por

outro lado, que o padrão Classe B (< 10 ovos / g ST) seja por demais permissivo. O trabalho demonstra o potencial do emprego da metodologia AQRM na área do uso de biossólidos, ressaltando-se, entretanto, a necessidade de pesquisas que preencham lacunas de informação sobre a ocorrência e remoção de patógenos em lodos / biossólidos e sobre a contaminação de culturas e solos adubados com biossólidos, que permitam a elaboração de cenários de exposição mais adequados à realidade brasileira.

**Palavras chave:** biossólidos, patógenos, Resolução Conama 357/2006, risco do consumidor, risco do trabalhador

### 1. Introdução

Atualmente reconhecem-se as seguintes abordagens para o estabelecimento de critérios de qualidade para diversos usos da água, e por extensão de biossólidos<sup>1</sup> (BLUMENTHAL et al., 2000; WHO, 2004; WHO, 2006): (i) a ausência de riscos potenciais (perigos), caracterizada pela ausência de organismos indicadores e, ou, patogênicos na água ou nos biossólidos; (ii) a medida de risco atribuível à utilização da água, ou de biossólidos, dentre uma população exposta; (iii) a estimativa do risco atribuível mediante o emprego de modelos probabilísticos.

A primeira tem sido referida como abordagem do 'risco nulo', criticada por sua fragilidade em termos de fundamentação epidemiológica (BLUMENTHAL et al., 2000, CARR et al., 2004). Nas duas abordagens seguintes, a medida ou a estimativa do risco são contrapostas ao 'nível de risco tolerável'. Com a medida do risco, buscam-se evidências epidemiológicas de associação entre uma determinada prática de uso de água, ou de biossólidos, e a ocorrência de agravos / doença na população (por exemplo: risco relativo, risco atribuível). Entretanto, essa abordagem apresenta dificuldades práticas, por depender de um eficiente serviço de vigilância epidemiológica e, ou de complexos estudos epidemiológicos. Assim, a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), de forma conjunta aos estudos epidemiológicos clássicos, tem subsidiado a formulação ou a discussão sobre normas e critérios de qualidade da água e de biossólidos (FEWTRELL e BARTRAM, 2001; WHO, 2004; WHO, 2006; EINSEMBERG et al., 2006; MARA et al, 2007; EINSEMBERG et al., 2008; NAVARRO et al., 2008).

A Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006), estabelece duas classes de lodo, com as seguintes exigências de qualidade microbiológica: (i) lodo tipo A - coliformes

---

<sup>1</sup> No presente trabalho, o termo lodos de esgotos é adotado como referente à fração sólida resultante de processos de tratamento de esgotos, ainda não submetida à processos de tratamento, ou seja o lodo bruto. Biossólidos, por sua vez, refere-se ao lodo devidamente tratado (desidratado, estabilizado e higienizado) na perspectiva de caracterizar seu potencial de utilização produtiva, em detrimento da conotação de resíduo (ANDREOLI et al., 2001a).

termotolerantes (CTer)  $< 10^3$  NMP /g de ST<sup>2</sup>; ovos viáveis de helmintos  $< 0,25$  ovo / g de ST; ausência de *Salmonella* em 10 g ST e vírus  $< 0,25$  UFP ou UFF / g ST; (ii) lodo tipo B - CTer  $< 10^6$  NMP / g ST; ovos viáveis de helmintos  $< 10$  ovos / g ST. Adicionalmente, a legislação determina: (i) a proibição da utilização de qualquer classe de lodo em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, a menos que decorridos 24 e 48 meses desde última aplicação, respectivamente, nos casos de pastagens e dos demais cultivos; (ii) a restrição à utilização de lodo classe B ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação.

A legislação vigente impõe, pois, sérias restrições para o uso de lodos de esgotos e, por conseguinte, o desafio às empresas concessionárias dos serviços de saneamento de obtenção de argumentos bem fundamentados cientificamente para usos possíveis ou pretendidos. A Resolução CONAMA n<sup>o</sup> 375 / 2006 estabelece ainda que “decorridos cinco anos após sua publicação, somente será permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B.”

Nesse sentido vem a contribuição deste trabalho: a aplicação da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) como base para uma apreciação crítica, preliminar e exploratória, da legislação brasileira e do risco envolvido em diferentes cenários hipotéticos de exposição, que envolvam o trabalhador e o consumidor.

## 2. Avaliação quantitativa de risco microbiológico (aqrm)

A AQRM foi concebida a partir da metodologia inicialmente proposta para a avaliação de risco químico e envolve as seguintes etapas: identificação do perigo, avaliação da exposição, avaliação da dose-resposta e caracterização do risco (HAAS et al., 1999). Na etapa de caracterização do risco, as informações sobre o perfil da exposição e a dose-resposta são analisadas conjuntamente para o cálculo das probabilidades de infecção (risco) para um cenário de exposição de uma população a um organismo patogênico ou a um ambiente de interesse. Resultados de estudos experimentais indicaram dois modelos matemáticos (modelo beta-Poisson e modelo exponencial, equações 1 e 2) como os que melhor se aproximaram da infecciosidade experimental do microrganismo, para expressar a probabilidade de infecção resultante da ingestão de um número médio conhecido de organismos (HAAS, et al., 1999; WHO, 2006). Ambos estimam o risco de infecção associado a uma única exposição.

---

<sup>2</sup> Em todo o trabalho a concentração de microrganismos é expressa por unidade de massa dos sólidos totais (base seca)

$$PI(d) = 1 - [1 + (d/DI_{50}) (2^{1/\alpha} - 1)]^{-\alpha} \quad (1)$$

$$PI(d) = 1 - \exp(-r \cdot d) \quad (2)$$

onde:

PI = probabilidade de infecção para uma única exposição;

d = número de organismos ingeridos por exposição (dose);

DI<sub>50</sub> = dose infectante média

$\alpha$  e r = parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro (HAAS et al., 1999).

A partir das equações 1 e 2 pode-se estimar o risco para períodos de tempo maiores (por exemplo, anual), ou seja, para múltiplas exposições à mesma dose:

$$PI(A)(d) = 1 - [1 - PI(d)]^n \quad (3)$$

onde:

PI(A) = probabilidade anual de infecção decorrente de n exposições à mesma dose (d)

n = número de exposições por ano

Assim, conhecida a concentração de um dado organismo em uma determinada matriz (por exemplo, água para consumo humano, culturas irrigadas, solo, biossólidos) e estimada a ingestão (de determinado volume de líquido, quantidade de alimentos, partículas de solo ou biossólidos, etc.) pode-se estimar o risco anual de infecção. Inversamente, estabelecido o risco tolerável, pode-se estimar a concentração admissível de organismos patogênicos na matriz considerada e, por conseguinte, o grau de tratamento requerido (usualmente expresso em termos de unidades logarítmicas de remoção). Portanto, uma decisão fundamental e inerente ao processo de AQRM é a definição do que seja risco tolerável.<sup>3,4</sup>

### 2.1. Aplicação da AQRM à utilização de esgotos sanitários e biossólidos na agricultura

A metodologia de AQRM não é de fácil aplicação ao cenário 'utilização de esgotos' ou 'utilização de biossólidos', dada à complexidade dessas exposições. Não obstante, alguns estudos sugerem que o consumo de hortaliças irrigadas com efluentes contendo 1 - 40 vírus por 40 L redundaria

<sup>3</sup> Hunter e Fewtrell (2001) sugerem que o risco é aceitável quando: (i) está abaixo de um limite definido arbitrariamente; (ii) está abaixo de um nível já tolerado; (iii) está abaixo de uma fração do total da carga de doença na comunidade; (iv) o custo de redução do risco excederia o valor economizado; (v) o custo de oportunidade da prevenção do risco seria mais bem gasto em outras ações de promoção da saúde pública; (vi) os profissionais de saúde dizem que é aceitável; (viii) o público em geral diz que é aceitável (ou não diz que é inaceitável).

<sup>4</sup> Nos EUA admite-se um risco anual de infecção de  $10^{-4}$  (um caso anual de infecção dentre 10.000 pessoas) para os diversos organismos patogênicos transmissíveis via abastecimento de água para consumo humano, considerando um padrão de consumo de  $2 \text{ L d}^{-1}$  (HAAS et al., 1999). Nas diretrizes da OMS para a qualidade da água para consumo humano e para a utilização de esgotos sanitários (WHO, 2004; WHO, 2006), os riscos toleráveis anuais admitidos são: vírus (rotavírus)  $7,7 \times 10^{-4}$ ; bactérias (*Campylobacter*):  $3,1 \times 10^{-4}$ ; protozoários (*Cryptosporidium*):  $2,2 \times 10^{-3}$ .

em risco anual entre  $10^{-9}$  e  $10^{-4}$  (ASANO e SAKAJI, 1990; ASANO et al, 1992); outros trabalhos sugerem que a irrigação com efluentes contendo  $\leq 10^3$  CTer / 100 mL resultaria em risco anual de infecções virais de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  (SHUVAL et al, 1997). Mara et al. (2007), utilizando técnicas de AQRM e simulação de Monte Carlo, estimaram que, em um cenário de consumo a cada dois dias de 100 g de alfaces irrigadas com esgotos sanitários contendo  $10^3 - 10^4$  *E. coli* por 100 mL, os riscos médios anuais seriam de, aproximadamente,  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  para rotavírus e *Cryptosporidium*, respectivamente. Em exercício similar para a irrigação restrita, os autores estimaram riscos para rotavírus próximos de  $10^{-3}$  (e bem mais baixos para *Campylobacter* e *Cryptosporidium*) resultantes do seguinte cenário de exposição: ingestão involuntária de 10 - 100 mg de solo por dia contendo  $10^3 - 10^4$  *E. coli* por 100 g de solo, durante 300 dias por ano. Nesse estudo de Mara et al (2007) foram ainda consideradas as seguintes situações para a construção dos cenários de exposição: (i) 10 -15 mL de esgotos em 100 g de hortaliça irrigada; (ii) números correspondentes de *E.coli* / 100 mL no efluente de *E.coli* /100 g no solo irrigado; (iii) relação patogênicos / *E.coli* de 0,1 - 1 rotavirus e *Campylobacter* por  $10^5$  *E. coli*; 0,01 – 0,1 oocistos de *Cryptosporidium* por  $10^5$  *E. coli*. Vários desses trabalhos, com destaque para Mara et al. (2007), serviram de base para a atualização das diretrizes da OMS para a utilização agrícola de águas residuárias (WHO, 2006). No Brasil, Bastos et al. (2008) chegaram a valores similares de estimativa de risco, utilizando um modelo desenvolvido de estimativa de qualidade microbiológica de hortaliças irrigadas a partir da qualidade da água de irrigação e dados do IBGE de consumo per capita de hortaliças.

A legislação norte-americana para a utilização de lodos de esgotos estabelece que biossólidos classe A necessitam passar por processos de tratamento que reduzam a concentração de CTer à  $10^3$  org / g ST (matéria seca) e a de patógenos à níveis praticamente não detectáveis (< 3 salmonelas / 4g ST, 1 vírus / 4g ST e < 1 ovo viável de helmintos por g ST); para esta classe não há maiores restrições de uso ou comercialização do biossólido. Lodos classe B devem ser tratados para a redução da concentração de CTer à  $2 \times 10^6$  org / g ST e a de patógenos (bactérias, vírus e ovos viáveis de helmintos) a níveis considerados como de proteção à saúde, sob condições específicas de uso – para esta classe são estabelecidas uma série de restrições de uso e a comercialização não é permitida. Depreende-se que a lógica subjacente à utilização de lodo Classe A seria a do ‘risco nulo’ e à de lodo Classe B a aplicação de AQRM, o que, entretanto não é explicitado (USEPA, 1993; USEPA, 1995).

Gerba et al. (2002), aplicando AQRM, estimaram riscos de infecção para rotavírus para a utilização de biossólidos classe B; de acordo com o cenário de exposição construído, os riscos decorrentes da ingestão involuntária de biossólidos ou de partículas de solo com biossólidos seriam da ordem de, respectivamente,  $10^{-1}$  -  $10^{-2}$  e  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$ . Gale (2003) propõe abordagens para a construção de cenários de exposição a riscos de transmissão de *Cryptosporidium* e salmonela, sistematizando informações de ocorrência desses organismos em lodos de esgotos, sua remoção por meio do tratamento, dinâmica no solo e contaminação de cultivos de olerícolas / raízes.

No que diz respeito aos riscos associados a doenças helmínticas, o padrão de qualidade sugerido pela OMS para a irrigação com esgotos (< 1 ovo de helmintos / L) é baseado em evidências epidemiológicas disponíveis (BLUMENTHAL et al., 2000), ao se reconhecer a insuficiência de informações para a aplicação da metodologia de AQRM (WHO, 2006). Entretanto, em recente publicação, Navarro et al. (2008), utilizando dados epidemiológicos de exposição à irrigação com esgotos sanitários no Vale do Mezquital (México), testaram os dois modelos descritos nas equações 1 e 2 e concluíram ser o modelo Beta-Poisson o que melhor se aproxima da infecciosidade para *Ascaris lumbricoides*; de posse desse modelo, os autores aplicaram AQRM para a estimativa de risco associada ao uso de biossólidos no cultivo de cenoura, concluindo que o padrão da norma dos EUA (< 0,25 ovos /g ST) soa por demais restrito.

O lodo / biossólidos produzidos em estações de tratamento de esgotos sanitários podem apresentar características físicas, químicas e microbiológicas bastante diferenciadas, dependendo das características do esgoto bruto e dos processos de tratamento empregados (ANDREOLI et al. 2001a). As densidades usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários descritas na literatura são, conforme compilado em Florêncio et al. (2006):  $10^6$ - $10^8$  *Escherichia coli*/100 mL;  $10^2$ - $10^3$  *Salmonella* spp./100 mL;  $10^2$ - $10^4$  cistos de *Giardia* sp./L;  $10^1$ - $10^3$  oocistos de *Cryptosporidium* spp./L;  $10^1$ - $10^3$  ovos de helmintos/L e  $10^2$ - $10^5$  vírus/L. Na Tabela 1 reúnem-se informações de literatura sobre concentrações típicas de *E.coli* de organismos patogênicos encontrados em lodos de esgotos e biossólidos. Para efeito deste trabalho, foram selecionadas informações de lodos tratados por digestão mesofílica e por caleação, tomados como exemplos, respectivamente, de lodos Classe B e A. Naturalmente, existem vários outros processos de higienização capazes de produzir lodos com características semelhantes às apresentadas, tais como: digestão termofílica, compostagem, secagem térmica, pasteurização (PINTO, 2001).

**Tabela 1 . Organismos identificados em biossólidos e lodos de esgotos sanitários**

Microrganismo	Lodos de esgotos <sup>(a)</sup>	Biossólidos		Referências
		Digerido <sup>(b)</sup>	Caleado	
Coliformes termotolerantes <sup>(c)</sup>	$10^7$ - $10^8$	$10^5$ - $10^7$	$10^2$ <sup>(g)</sup>	Pederson (1981); Andraus et al (1998); Melo et al (2000); Vanzo et al (2000); Epstein (2003); Guzmán et al (2007);
<i>Escherichia coli</i> <sup>(c)</sup>	$10^5$ - $10^7$	$10^3$ - $10^6$ <sup>(h)</sup>	$1$ - $10^2$ <sup>(g)</sup>	Bastos et al. (2007); Lang et al (2008)
<i>Salmonella</i> spp. <sup>(c)</sup>	$10^2$ - $10^4$	$1$ - $10$	ND <sup>(i)</sup> - 0,1 <sup>(j)</sup>	Pederson (1981); Andraus et al (1998); Epstein (2003); Gale (2003); Melo et al (2000); Vanzo et al (2000).
Vírus entéricos <sup>(d)</sup>	$10^2$ - $10^3$	$1$ - $10^1$	0,1 - 1	Gerba et al (2002); Epstein (2003); Gale (2003); Guzmán et al (2007)

Rotavírus <sup>(d)</sup>	$10 - 10^3$	-	-	Mignotte et al. (1999)
Ovos de helmintos <sup>(e)</sup>	$10 - 10^2$	0,3 - 13	ND <sup>(i)</sup> - 2 <sup>(g)</sup>	Melo et al (2000); Vanzo et al (2000); Andreoli et al (2001b); Bastos et al. (2007); Navarro et al (2008).
<i>Giardia</i> spp. <sup>(f)</sup>	$10^2$	0,5	?	Epstein (2003); Vanzo et al (2000)
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>(f)</sup>	$10 - 10^3$	1 - 10	0,1 - 1	Chauret <i>et al.</i> (1999); Gale (2003); Guzmán et al (2007)

**NOTAS:** (a) lodos primário, secundário ou de reator UASB, sem tratamento; (b) digestão aeróbia ou anaeróbia mesofílica; (c) NMP/g ST; (d) Unidade formadora de placa (UFP)/g ST; (e) ovos/g MS; (f) (oo)cistos/g ST; (g) 20-60 dias após aplicação de cal a 40-50% do peso seco, pH  $\approx$ 12; (h) estimado assumindo remoção de  $2\log_{10}$ ; (i) não detectado; (j) considerando remoção de  $5\log_{10}$ .

### 3. Material e métodos

A definição do cenário de exposição para bio sólidos é uma etapa da AQRM bastante complexa. Para efeito de reflexão, foram selecionados dois cenários de exposição para o uso de bio sólidos Classes A e B: (i) risco do consumidor - cultivo de olerícolas (folhosas e raízes) ingeridas cruas; risco de infecção pelo consumo per capita diário de 0,49 g de alface e 1,33 g de cenoura (dados médios da Pesquisa de Orçamentos Familiares do IBGE de 2002-2003) (IBGE, 2004); (ii) risco do trabalhador - risco de infecção pela ingestão involuntária de 10 mg de partículas de bio sólidos ou de solo por dia, durante 120 dias por ano.

No caso do risco do consumidor, para a definição da dose (variável 'd' nas equações 1, 2 e 3), admitiu-se que cada kg de cenoura e alface contenham, respectivamente, 20 g e 2 g de solo, ou 0,04 g e 0,004 g de bio sólidos; ou seja, admitiu-se um fator de diluição, por incorporação do bio sólido no solo, da ordem de 1:500 (MARA e HORAN, 2002; GALE, 2003), com base nos seguintes pressupostos: taxa de aplicação de bio sólidos de 6 t MS/ha.ano (estimada a partir de uma demanda de 80 kg N/ha e em teores típicos de nitrogênio em bio sólidos) (ANDREOLI et al., 2001b), incorporação do bio sólido no solo a 0,20 m de profundidade, densidade do solo de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ .

Para o cenário de ingestão involuntária de partículas de solo, diferentes valores são descritos na literatura. A OMS (2006) considera a hipótese de ingestão involuntária de 10 - 100 mg de partículas de solo por pessoa por dia ao longo de 300 dias de exposição por ano. Eisenberg (2008) considera dois diferentes cenários, sendo o primeiro o trabalhador exposto cinco dias por semana durante 260 dias no ano e com ingestão involuntária de 100 mg/dia; o segundo cenário referencia o volume total de bio sólido manuseado, sendo considerada a ingestão de 100 mg a cada 1.000 kg de bio sólidos aplicado no solo. Esse mesmo autor em outra publicação



refere-se aos diferentes valores de ingestão de solo disponíveis na literatura (26 a 480 mg/dia) (EISENBERG, 2006).

No presente trabalho, os 120 dias de exposição têm por hipótese o fato de que a aplicação de bio sólidos é pontual, no momento do preparo do terreno para a sementeira; entretanto pode-se bem imaginar que um mesmo trabalhador esteja envolvido em atividades repetidas, na mesma propriedade (por exemplo, rotação de culturas ou plantios sazonais) ou em propriedades, ou empregos, distintos. Em resumo, assume-se que o trabalhador estaria envolvido em atividades de aplicação de bio sólidos aproximadamente a cada três dias. Nesse caso, o cenário seria o da aplicação manual, sem uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e, por conseguinte, a ingestão acidental de partículas de bio sólidos. Em outro cenário de exposição, ao longo dos mesmos 120 dias, o trabalhador envolvido em atividades de manuseio do sistema solo-planta estaria exposto à ingestão acidental de partículas de solo.

No caso do risco do consumidor, admitiu-se ainda um decaimento de  $2 \log_{10}$  de salmonela e de  $1 \log_{10}$  de protozoários e vírus (GALE, 2003), no pressuposto de que culturas como alface e cenoura têm ciclos de aproximadamente 45-60 dias. Em contrapartida, não se admitiu qualquer decaimento de ovos de helmintos, dado o reconhecimento de sua prolongada sobrevivência no solo (FEACHEM et al., 1983). No caso do risco do trabalhador, em função do cenário construído (exposição a cada três dias), não se computou decaimento no solo para qualquer organismo.

Considerando as concentrações de organismos patogênicos expressas na Tabela 1 como típicas de lodo Classe B ( $10^6$  Cter/g MS), foram assumidos ainda os seguintes dados para a definição da dose de patógenos ingerida por evento de exposição: 10 salmonelas/g ST; 10 rotavírus /g ST; 10 ovos de helmintos /g MS; 0,5 cisto de *Giardia* / g ST e 5 oocistos de *Cryptosporidium* / g ST. Para lodo Classe A, compatível com os dados de lodo caçado da Tabela 1 ( $10^3$  Cter/g ST) foram assumidos os seguintes valores: 0,1 salmonela / g ST; 0,25 rotavírus / g ST; 0,25 ovos de helmintos / g ST; 0,1 cisto de *Giardia* / g MS e 0,5 oocisto de *Cryptosporidium* / g MS. Na ausência ou carência de informações, para a construção desse quadro levou-se em conta o conhecimento das características de cada um desses organismos e de seu potencial de remoção nos processos de tratamento considerados. Quando cabível, foram assumidos os limites especificados na Resolução CONAMA n° 375 / 2006.

As constantes necessárias para a utilização dos modelos matemáticos,  $DI_{50}$  (dose infectante média),  $\alpha$  e  $r$  (parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro) foram obtidas nas referências Haas et al. (1999) e Teunis et al. (1999), para bactérias, vírus e protozoários, e Navarro (2008), para helmintos. Para o cálculo do risco para uma única exposição foram utilizados os modelos matemáticos beta-Poisson (*Salmonella*, rotavírus e helmintos) e exponencial (protozoários), sendo os resultados extrapolados para múltiplas exposições (risco anual).

#### 4. Resultados e discussão

Os resultados das estimativas de risco diário e anual de infecção para diferentes organismos patogênicos, de acordo com os cenários de exposição acima construídos, estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Riscos do consumidor e do trabalhador, diário e anual, de infecção por *Salmonella*, *Giardia*, *Cryptosporidium* e rotavírus com a aplicação de lodos Classes A e B para o cultivo de alface e cenoura.

Risco de infecção pelo consumo de alface (risco do consumidor)					
Classe lodo	Risco	<i>Salmonella</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	Rotavírus
A	diário	$4,6 \times 10^{-10}$	$3,9 \times 10^{-8}$	$1,2 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-7}$
	anual	$1,7 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$4,5 \times 10^{-6}$	$1,7 \times 10^{-4}$
B	diário	$4,6 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-7}$	$4,1 \times 10^{-8}$	$9,2 \times 10^{-6}$
	anual	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-3}$
Risco de infecção pelo consumo de cenoura (risco do consumidor)					
Classe lodo	Risco	<i>Salmonella</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	Rotavírus
A	diário	$1,3 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-6}$	$3,3 \times 10^{-7}$	$1,3 \times 10^{-4}$
	anual	$4,6 \times 10^{-6}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,5 \times 10^{-2}$
B	diário	$1,3 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-3}$
	anual	$4,6 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$5,9 \times 10^{-1}$
Risco de infecção pela ingestão involuntária de solo (risco do trabalhador)					
Classe lodo	Risco	<i>Salmonella</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	Rotavírus
A	diário	$4,7 \times 10^{-9}$	$3,9 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-8}$	$4,8 \times 10^{-6}$
	anual	$5,6 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$5,7 \times 10^{-4}$
B	diário	$4,7 \times 10^{-7}$	$3,9 \times 10^{-7}$	$4,1 \times 10^{-7}$	$9,4 \times 10^{-5}$
	anual	$5,6 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-2}$
Risco de infecção pela ingestão involuntária de biossólidos (risco do trabalhador)					
Classe lodo	Risco	<i>Salmonella</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	Rotavírus
A	diário	$2,4 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$6,3 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-3}$
	anual	$2,8 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$7,6 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-1}$
B	diário	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$4,2 \times 10^{-2}$
	anual	$2,4 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-1}$

De acordo com os cenários de exposição construídos, os riscos mais elevados e acima dos níveis toleráveis assumidos pela OMS para a irrigação com esgotos sanitários (ou mesmo para o consumo de água) (WHO, 2004; WHO, 2006) seriam mais frequentemente associados aos vírus, com destaque para as seguintes situações: (i) risco do consumidor – aplicação de lodo Classes A e B para o cultivo de cenoura; (ii) risco do trabalhador – ingestão acidental de solo com aplicação de lodo Classe B e ingestão involuntária de bio sólidos pelo manuseio de lodo Classes A e B. Os riscos relativamente mais elevados associados aos vírus encontram correspondência em vários relatos de literatura, o que, entretanto, esbarra na fragilidade dos cenários de exposição construídos, tendo em vista as lacunas de informação sobre a dinâmica ambiental desses organismos e as dificuldades analíticas de seu isolamento em amostras ambientais, incluindo bio sólidos (PETTERSON et al., 2001; GERBA et al., 2002).

Cabe observar que os riscos associados ao cultivo de cenoura mostraram-se sempre superiores ao de alface, devido ao cenário construído de maior aderência de partículas de solo nesse tipo de cultura; entretanto, exatamente por isso, tubérculos e raízes são em geral submetidos a maiores cuidados de limpeza, o que, certamente, reduziria a densidade microbiana. Aliás, há de se destacar que não foi considerado, em nenhum dos cenários de exposição, a redução de patógenos por meio de higienização dos alimentos, o que implicaria menor risco real de infecção.

Por outro lado, cabe destacar que, em geral, a simulação de aplicação de lodo Classe A em culturas comestíveis cruas não resultou em risco elevado, o que pode sugerir questionamentos sobre a simples proibição na Resolução CONAMA nº 375 / 2006 de utilização de “qualquer classe de lodo” em culturas comestíveis.

Em relação à proteção do trabalhador, os riscos estimados foram particularmente elevados (bactérias, vírus, protozoários e helmintos) quando considerado o cenário mais desfavorável de manuseio direto de bio sólidos Classe B. Por sua vez, o risco associado à ingestão acidental de solo com bio sólidos incorporados parece ser de menor relevância. Ressalta-se que para construção desses cenários foram assumidos o consumo involuntário de 10 mg de bio sólido por dia e exposição de 120 dias por ano, sem, contudo, considerar decaimento microbiano no solo e as possíveis múltiplas barreiras a partir das Boas Práticas (e mesmo práticas de caráter higiênico corriqueiras) e do simples uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

Considerando os helmintos, em ambos os cenários (risco do consumidor e trabalhador), riscos elevados foram registrados apenas para a simulação de uso de lodo Classe B (Tabela 3). Há, portanto, sugestões que o padrão Classe A (< 0,25 ovo / g ST) seja muito restrito (confirmando as recentes sugestões de Navarro et al., 2008) e, por outro lado, que o padrão Classe B (< 10 ovos / g ST) seja por demais flexível.

**Tabela 3.** Riscos do consumidor e do trabalhador, diário e anual, de infecção por *Ascaris lumbricoides* com a aplicação de lodos Classes A e B para o cultivo de alface e cenoura.

<b>Risco de infecção pelo consumo de alface (risco do consumidor)</b>		
<b>Classe lodo</b>	<b>Risco</b>	<b><i>A. lumbricoides</i></b>
<b>A</b>	diário	$4,6 \times 10^{-8}$
	anual	$1,7 \times 10^{-5}$
<b>B</b>	diário	$1,9 \times 10^{-6}$
	anual	$6,0 \times 10^{-2}$
<b>Risco de infecção pelo consumo de cenoura (risco do consumidor)</b>		
<b>Classe lodo</b>	<b>Risco</b>	<b><i>A. lumbricoides</i></b>
<b>A</b>	diário	$1,3 \times 10^{-6}$
	anual	$4,7 \times 10^{-4}$
<b>B</b>	diário	$5,0 \times 10^{-5}$
	anual	$1,8 \times 10^{-2}$
<b>Risco de infecção pela ingestão involuntária de solo (risco do trabalhador)</b>		
<b>Classe lodo</b>	<b>Risco</b>	<b><i>A. lumbricoides</i></b>
<b>A</b>	diário	$4,8 \times 10^{-7}$
	anual	$5,8 \times 10^{-5}$
<b>B</b>	diário	$1,9 \times 10^{-5}$
	anual	$2,3 \times 10^{-3}$
<b>Risco de infecção pela ingestão involuntária de biossólido (risco do trabalhador)</b>		
<b>Classe lodo</b>	<b>Risco</b>	<b><i>A. lumbricoides</i></b>
<b>A</b>	diário	$2,4 \times 10^{-4}$
	anual	$2,8 \times 10^{-2}$
<b>B</b>	diário	$9,0 \times 10^{-3}$
	anual	$6,6 \times 10^{-1}$

### 5. Considerações finais

Os resultados obtidos a partir dos cenários de exposição construídos para uso de lodo Classes A e B permitem as seguintes sugestões, tendo como referência a Resolução CONAMA nº 375 / 2006:

- (i) Riscos mais elevados decorrentes do uso de bio sólidos, Classes A e B, parecem estar mais relacionados à saúde ocupacional (risco do trabalhador) do que à saúde do consumidor.
- (ii) Especula-se, portanto, que a atual versão da legislação brasileira possa ser demasiadamente rigorosa para o padrão Classe A, tanto nos critérios de qualidade do lodo, quanto, principalmente, nas restrições de uso.
- (iii) Aponta-se ainda que o ‘banimento’ do uso de lodo Classe B possa ser medida desnecessariamente rigorosa; seu uso parece defensável, desde que acompanhado de medidas adequadas de proteção à saúde, com especial atenção à saúde ocupacional. Com base na abordagem deste trabalho, julga-se pertinente o estabelecimento de limites de patógenos, não somente para lodo Classe A, mas também para Classe B.
- (iv) Entre os patógenos considerados, os riscos mais elevados parecem estar relacionados à transmissão de vírus e, na seqüência, à de helmintos, protozoários e, por último de bactérias.
- (v) A legislação brasileira parece, portanto, coerente em estabelecer critérios restritivos para a presença de vírus em lodo Classe A, mas é omissa no estabelecimento de limite para a presença desse patógeno em lodo Classe B, o que, a julgar pelas especulações deste trabalho, pode ser relevante.
- (vi) Este trabalho reúne sugestões, ainda que preliminares, que o padrão Classe A ( $< 0,25$  ovo / g ST) possa ser muito restrito e que, por outro lado, que o padrão Classe B ( $< 10$  ovos / g ST) seja por demais permissivo, acarretando risco elevado ao trabalhador.
- (vii) A legislação brasileira não aborda o grupo dos protozoários e esses podem constituir patógenos importantes para a aplicação agrícola de bio sólidos; a agenda da pesquisa na área deve, portanto, ocupar-se desse tema, com especial atenção a estudos comparativos de remoção de ovos de helmintos e (oo)cistos de protozoários.
- (viii) Os riscos estimados para a transmissão de bactérias patogênicas foram bem inferiores aos de outros patógenos e, talvez, a explicitação do critério “ausência de salmonela” em lodo Classe A seja desnecessária; em outras palavras pressupõe-se que o padrão de coliformes termotolerantes ( $< 10^3$  NMP /g ST) já assegure a virtual ausência de bactérias

patogênicas. Nesse sentido, Lang t al. (2008) registram que *E.coli* é um indicador robusto da inativação de salmonela em processos de tratamento de lodos de esgotos (pasteurização, digestão mesofílica e termofílica) e que o monitoramento desse patógeno seria desnecessário.

- (ix) A agenda de pesquisa deve ainda debruçar-se em estudos sobre o aprimoramento de técnicas de isolamento de patógenos em biossólidos e sobre a remoção de patógenos em processos de tratamento de lodos de esgotos, de forma a subsidiar, permanentemente, atualização da legislação, e com vistas à elucidação das seguintes questões: (a) padrões de qualidade baseados em coliformes termotolerantes (ou *E.coli*) (por exemplo,  $10^3$  e  $10^6$  CTer / g ST) correspondem, de fato, à que concentrações dos diferentes patógenos; (b) quais patógenos necessitam de, efetivamente, ser incluídos na legislação, uma vez que isso implica em obrigatoriedade de monitoramento.

Acredita-se que este trabalho venha contribuir para o estímulo do emprego da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico na área do uso de biossólidos, como subsídio à discussão bem fundamentada (sob a perspectiva do risco à saúde) sobre a definição de parâmetros de qualidade, seus respectivos limites (valores máximos permissíveis – VMP), condições de uso e demais medidas de proteção à saúde.

Importante salientar que os cenários hipotetizados neste trabalho são bastante adversos, não sendo considerados aspectos como decaimento microbiano no solo (nesse caso, em alguns dos cenários), redução de patógenos por higienização dos alimentos, ou da exposição por uso de equipamentos de proteção individual e outras práticas que poderiam reduzir o risco real de infecção. Por outro lado, a construção dos cenários de exposição muitas vezes esbarra na escassez de informações sobre a ocorrência e remoção de patógenos em lodos / biossólidos e sobre a contaminação de culturas e solos adubados com biossólidos. Ressalta-se, assim, a necessidade de mais estudos que possibilitem a elaboração de cenários mais adequados à realidade brasileira.

## 6. Referências bibliográficas

- Andraus, S.; Borges, J. C.; Medeiros, M. L. B.; T., E. B. S. Eficiência da calagem na remoção de bactérias entéricas, no lodo aeróbio da ETE-Belém, em Curitiba-PR. *Sanare -Revista Técnica da Sanepar*, v. 10, n. 10, pp.57-62, 1998.
- Andreoli, C. V.; Sperling, M.; Fernandes, F. *Lodos de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de

- Saneamento do Paraná, 2001a. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).
- Andreoli, C. V.; Pegorini, E. S. Fernandes, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M.; FERNADES, F. *Lodos de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001b. p.319-397. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).
- Asano, T.; Leong, L. Y. C., Rigby, M. G.; Sakaji, R. H. Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric viruses monitoring data. *Water Science and Technology*. v. 26, n. 7-8, p. 1615-1623. 1992.
- Asano, T.; Sakaji, R. H. Virus risk analysis in wastewater reclamation and reuse. In: HAHN, H. H., KLUTE, R. (Eds). *Chemical water and wastewater treatment*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, p. 483-496, 1990.
- Bastos, R. K. X.; Assunção, F. A. L.; Rosa, A. P.; Henrique, C. S.; Souza, A. C. S. Gerenciamento do lodo em um sistema UASB + BF. *Revista AIDIS de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*, v. 1, n. 2. pp 1-7, 2007. disponível em < <http://www.metrik.cl/aidis/>> Acesso em: 12 mai. 2008.
- Bastos, R. K. X; Bevilacqua, P. D., Silva, C. A. B.; Silva C. V. Wastewater irrigation of salad crops: further evidence for the evaluation of the WHO guidelines. *Water Science and Technology*, v. 57, n. 8, p. 1213-1219, 2008.
- Blumenthal, U.; Mara, D. D.; Peasey, A.; Ruiz-Palacios, G. and Stott, R. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization*, 78 (9), 1104 – 1116, 2000.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências Brasília, DF: *Diário Oficial da União*, 30 de ago. 2006.
- Carr, R. M., Blumenthal, U. J.; Mara, D. D. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture: developing realistic guidelines. In: SCOT, C. A.; FARUQUI, N. I.; RASHID-SALY, L. (ed.). *Wastewater use in irrigated agriculture: coordinating the livelihood and environmental realities*. Wallingford: CAB International, pp. 52-72, 2004.
- Chauret, C; Sprinthorpe, S; Sattar, S. Fate of *Cryptosporidium* oocysts, *Giardia* cysts, and microbial indicators during wastewater treatment and anaerobic sludge digestion. *Canadian Journal of Microbiology* v. 45, n.3, p. 257-262, 1999.
- Eisenberg, J. N. S; Moore, K; Soller, J. A; Eisenberg, D; Colford J. M. Microbial risk assessment framework for exposure to amended sludge projects. *Environmental Health Perspectives*.v.116, n. 6, 2008.
- EISENBERG, J. N. S; MOORE, K; SOLLER, J. A; COLFORD J. M; EISENBERG, D. *Application of a dynamic model to assess microbial health risks associated with beneficial uses of biosolids*. Alexandria, VA: Environment Research Foundation, 2006 (Phase II. Report 98-REM-1)

- EPSTEIN, E. *Land application of sewage sludge and biosolids*. Boca Raton, FL: Lewis Publisher, 2003.
- Feachem, R.G.; Bradley, D.J.; Garelick, H.; Mara, D.D. *Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management*. New York: John Wiley & Sons, 1983. 501p.
- Fewtrell, L; Bartram J. (Ed.) *Water quality guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water related infectious disease*. Geneva: WHO, p. 207-227, 2001.
- Florêncio, L.; Aisse, M.M.; Bastos, R.K.X.; Piveli, R. P. Utilização de esgotos sanitários – marcos conceituais e regulatórios. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X., AISSE, M. M. (Coord.). *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, p.1-15, 2006 (Projeto PROSAB).
- Gale, P. Using event trees to quantify pathogen levels on root crops from land application of treated sewage sludge. *Journal of Applied Microbiology*, v. 94, pp. 35-47, 2003.
- Gerba C.P; Pepper I. L; Whitehead III, L. F. A risk assessment of emerging pathogens of concern in the land application of biosolids. *Water Science and Technology*. v.46, n. 10, p. 225–230, 2002.
- Guzmán, C.; Montemayor, M.J.J; Lucena, F. Occurrence and levels of indicators and selected pathogens in different sludges and biosolids. *Journal of Applied Microbiology*, v. 103, pp. 2420–2429, 2007.
- Haas, C.N, Rose, J., Gerba, C.P. *Quantitative microbial risk assessment*. New York: John Wiley & Sons, 1999. 449p.
- Hunter, P. R.; Fewtrell, L: Acceptable risk. In: FEWTRELL, L; BARTRAM J. (Ed.) *Water quality guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water related infectious disease*. p. 207-227. Geneva: WHO, 2001.
- IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. *Pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003: primeiros resultados – Brasil e grandes regiões*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 276 p.
- Lang, N. L.; Smith, S. R. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. *Water Research*, v. 42, pp. 2229-2241, 2008.
- Mara, D. D.; Horan, N. J. Sludge to land: microbial double standards. *Journal CIWEM*, v. 16. pp. 249-252, 2002
- Mara, D. D.; Sleight, P. A.; Blumenthal, U. J.; Carr, R. M. Health risks in wastewater irrigation: comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, pp. 39 - 50, 2007.
- Melo, W. J.; Tsutiya, M. T.; Marques, M. O. Nível de fertilidade em solos tratados com biossólido oriundo da estação de tratamento de esgoto de Barueri, localizada na região metropolitana de São Paulo, e cultivados com milho. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII. Porto Alegre-RS, 2000. *Anais...* Porto Alegre: AIDIS, ABES, 2000 (CD ROM)
- Mignotte, B.; Maul, A. Schwartzbrod, L. Comparative study of techniques used to recover viruses from residual urban sludge. *Journal of Virological Methods*, v.78, p. 71–80, 1999.



- Navarro, I; Jiménez, B; Cifuentes, E; Lucario, S. A. Quantitative microbial risk assessment of helminth ova in reusing sludge for agricultural production in developing countries. *Risk Analysis*. v.6, n. 65, 2008.
- Pederson, D. Density levels of pathogenic microorganisms in municipal waste water sludge: indicator organism in Sonoran Desert soil amended with sewage sludge. *J Environ Sci Health Part A Environ Sci Eng*. v. 28, p.1287-1302, 1981.
- Petterson, S. R; Ashbolt, N. J; Sharma, A. Microbial risks from wastewater irrigation of salad crops: a screening-level risk assessment. *Water Environment Research*. v. 73, n.6, p. 667-672, 2001.
- Pinto, M. T. Higienização de lodos. In: Andreoli, C. V.; Sperling, M.; Fernandes, F. *Lodos de esgotos; tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).
- Shuval, H.I., Lampert, Y., Fattal, B. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Water Science and Technology*, v. 35, n. 11-12, p. 15-20. 1997.
- Teunis, P. F. M., Nagelkerke, N. J. D. & HAAS, C. N., Dose response models for infectious gastroenteritis. *Risk Analysis*, v.19, n.6, p.1251-1260, 1999.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. Standards for the use or disposal of sewage sludge. Standards for the use or disposal of sewage sludge; Final Rules, 40 CFR parts 257, 403, and 503 Washington, DC: *Federal Register*, v. 58, n. 32, pp. 9248-9415. February 19, 1993.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. *A Guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 Rule*. Washington, DC: USEPA, Office of Wastewater Management, 1995 (EPA832-B-93-005).
- Vanzo, J. E.; Macedo, L. S.; Tsutiya, M. T. ETE franca: uma estação que além de tratar os esgotos, produz insumos agrícolas. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII. Porto Alegre-RS, 2000. *Anais...* Porto Alegre: AIDIS, ABES, 2000 (CD ROM)
- WHO - World Health Organization. *Guidelines for drinking - water quality*, 3<sup>rd</sup> ed. Geneva: WHO, 2004. 515p.
- WHO - World Health Organization. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture*. Geneva: WHO. 2006. 213p.