Seminário Internacional

Uso de lodo de esgoto em solos

Contribuições para a regulamentação no Brasil

Realização:

inct ETEs Sustentáveis

ABES

A regulamentação do uso de lodo de esgoto em solos: fundamentação conceitual, abordagem brasileira e panorama internacional

Análise crítica comparativa da abordagem brasileira vis-à-vis a experiência internacional

Rafael K X Bastos

Universidade Federal de Viçosa

Departamento de Engenharia Civil

Introdução / Contexto: uso agrícola – vantagens e limitações

Vantagens

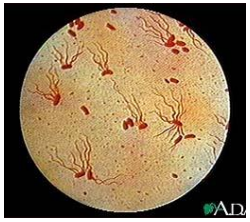
Nutrientes e matéria orgânica ► solo

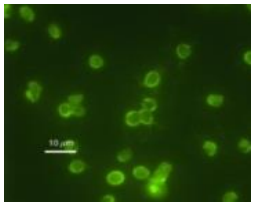
Melhora características físicas e químicas do solo (estrutura, retenção água, CTC..)

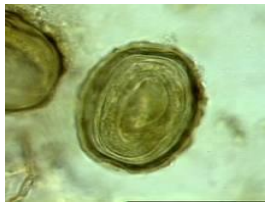
Limitações

Taxa aplicação ► impactos ambientais (solos, recursos hídricos)

Perigos ► riscos químicos e microbiológicos







Limitações ► regulamentação

(i) ausência de riscos potenciais ► ausência do contaminante no lodo

"Risco nulo"

(ii) medida do risco em excesso ou riscos atribuíveis à dentre uma população exposta ► risco tolerável (??) ► concentração de patógenos / contaminantes químicos nos biossólidos

Evidências epidemiológicas

(iii) estimativa de risco (AQR) ► risco tolerável (??) ► concentração de patógenos / contaminantes químicos nos biossólidos

água para consumo humano

EUA: 10^{-4} : um caso anual de infecção em cada 10.000 pessoas

OMS: ≈ 10^{-3}

Avaliação Quantitativa de Risco (AQR)

(i) identificação do perigo

(ii) caracterização da exposição: caracterização da população exposta, definição da(s) rota(s), quantidade e duração da exposição

(iii) avaliação da dose-resposta: potencial que tem o agente de causar reposta em diversos níveis de exposição: estudos experimentais, toxicológicos ou epidemiológicos

(iv) caracterização do risco: caracterização da exposição + avaliação da dose-resposta ► estimativa de risco para múltiplas exposições.

Aspectos conceituais - Avaliação de Risco

Modelo AQR : Modelo exposição + Modelo dose-resposta

Modelo exposição ► dose d ► Modelo dose-resposta

Exposição e grupos de risco

Biossólido ► trabalhadores

Biossólido ► solo ► planta ► consumidor

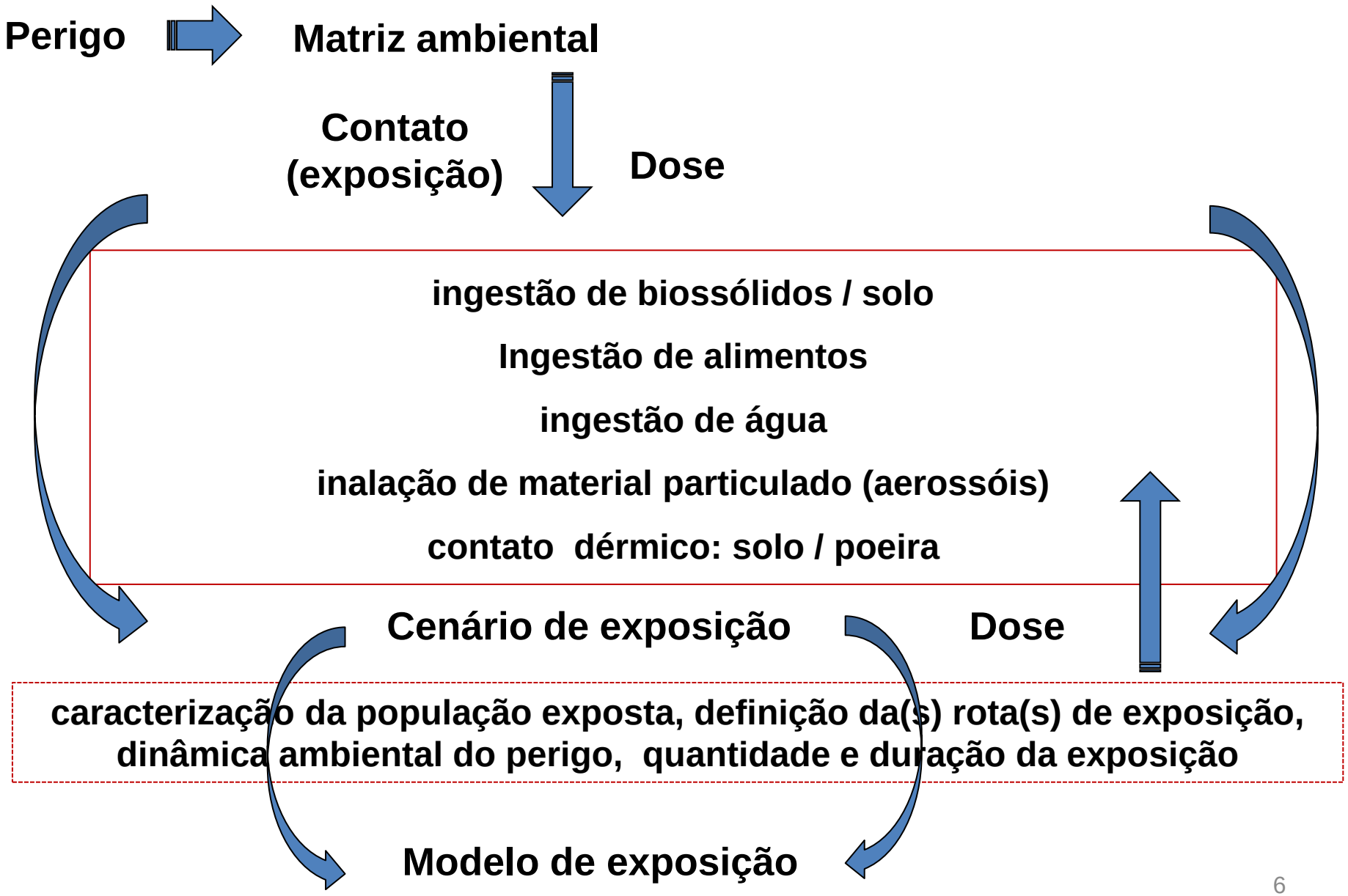
biossólido ► solo ► agricultor (demais pessoas em contato)

biossólido ►solo ► planta ► animal ►consumidor

Biossólido ► solo ► animal ► consumidor

Estimativa do risco

Caracterização da exposição



Caracterização da exposição

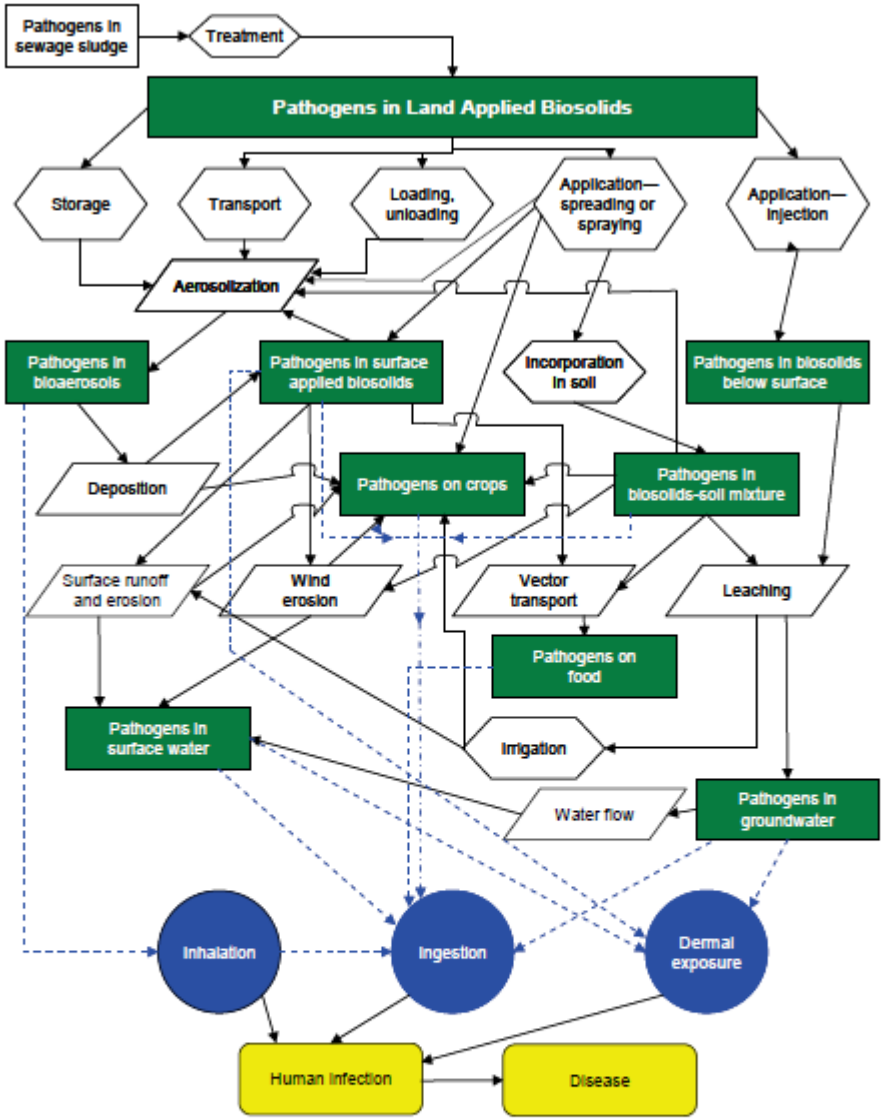


FIGURE 2

General Conceptual Model of the Potential Risks from Pathogens in Land-Applied Biosolids

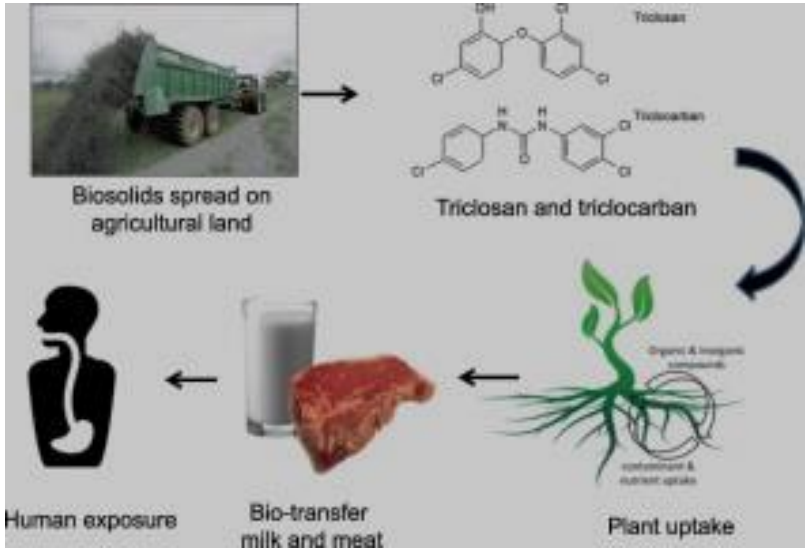
Legend: Green rectangles: source of pathogens, white hexagons: human actions, white parallelograms: natural process, blue circles: exposure pathways, yellow rectangles with rounded corners: potential responses.

USEPA (2011)

Caracterização da exposição

- **Persistência e estabilidade no ambiente**
  - **afinidade de sorção nas partículas do solo**
  - **mobilidade no solo**
  - **adsorção no material particulado na água.**
  - **estabilidade química na água (hidrólise, solubilidade, fotocatálise)**
  - **biodegradabilidade na água e no solo**

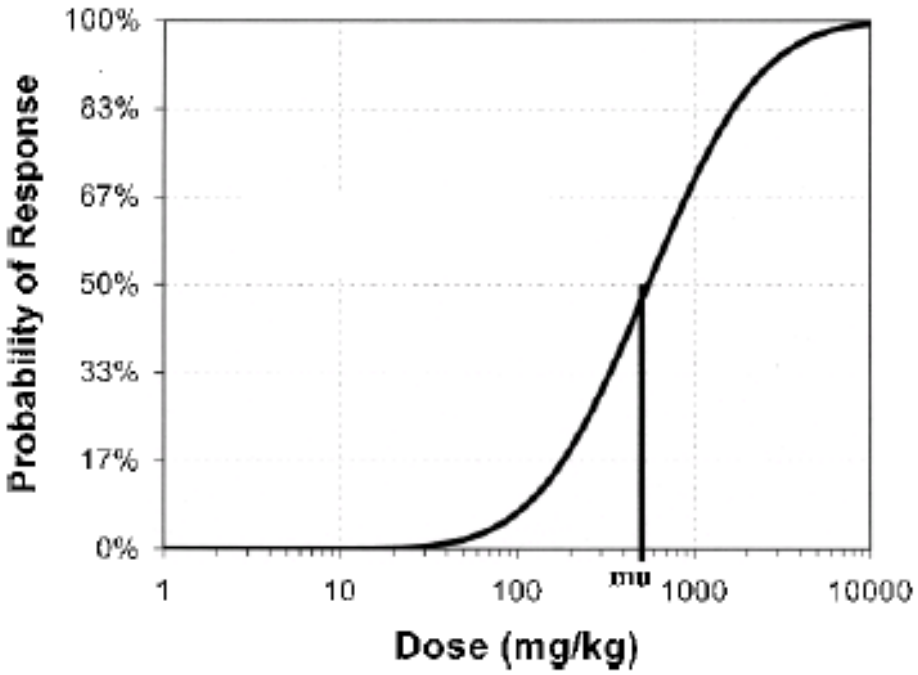
- **Absorção pelo sistema radicular**
- **Transporte da folhagem para outras partes da planta**
- **Bioacumulação e biomagnificação na cadeia trófica- alimentar**



Clarke et al (2018) Quantitative risk assessment of antimicrobials in biosolids applied on agricultural land and potential translocation into food

Modelo exposição ► dose d ► Modelo dose-resposta

Figure 1: Example of a dose–response curve for a 'threshold chemical' contaminant



Fonte: Khan (2010)

Aspectos conceituais - Avaliação de Risco

Lodo

Biossólidos

Fonte: Comparini (2001)

Concentração (admissível) do agente na matriz ambiental (lodo)

Modelo exposição ◄ dose d máxima ◄ Modelo dose-resposta

Risco tolerável

Risco – aspectos conceituais

❖ **riscos substâncias químicas**

✓ efeitos crônicos e de longo prazo

✓ toxicidade (???)

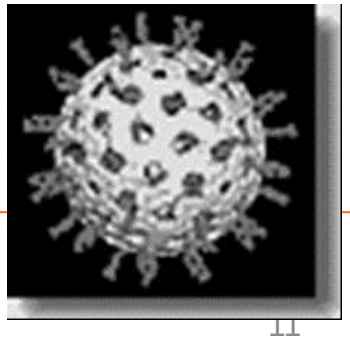
✓ incertezas

Inorgânicas, orgânicas, fármacos, disruptores endócrinos, higiene pessoal...

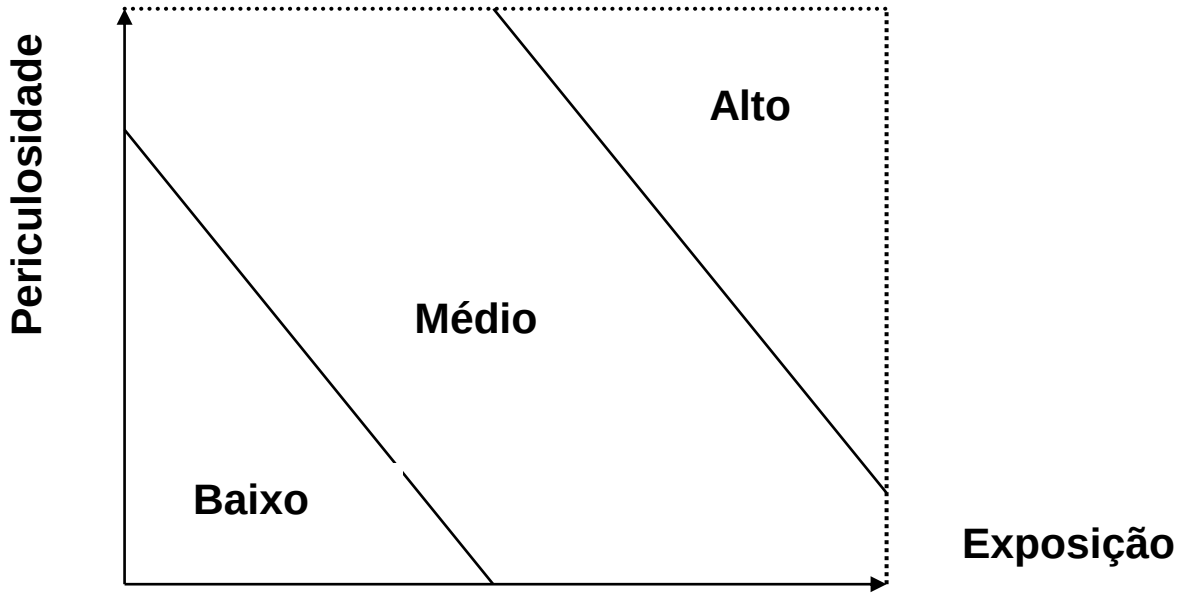
❖ **riscos microbiológicos**

✓efeitos agudos e de curto prazo

✓inquestionáveis e de grande impacto



Risco – aspectos conceituais



Risco: exposição x periculosidade (toxicidade / patogenicidade)

Avaliação Quantitativa de Risco (AQR)

(i) identificação do perigo

(ii) caracterização da exposição: caracterização da população exposta, definição da(s) rota(s), quantidade e duração da exposição

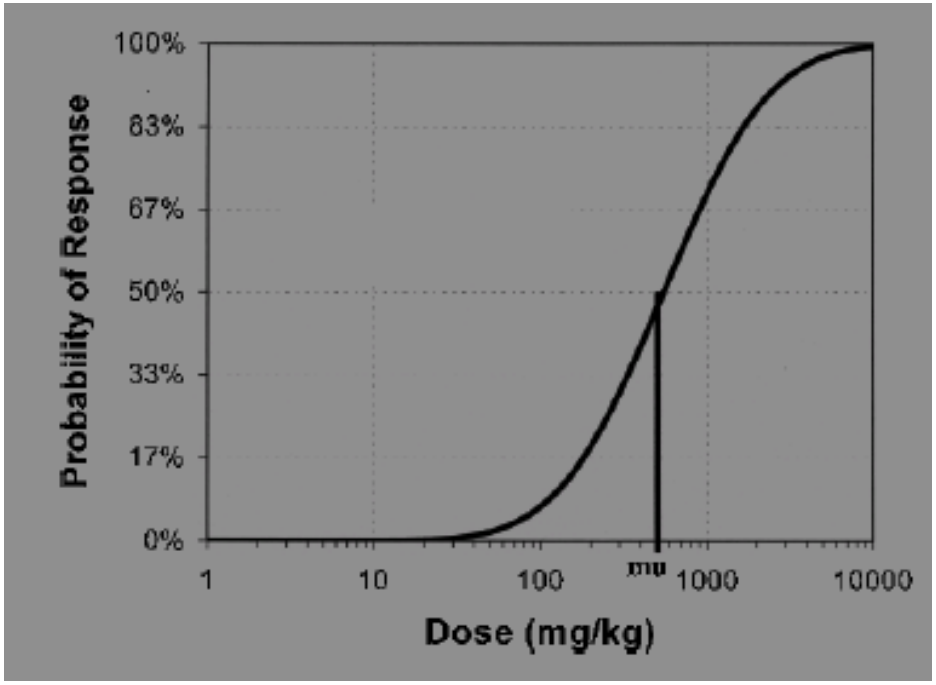
(iii) avaliação da dose-resposta: potencial que tem o agente de causar reposta em diversos níveis de exposição: estudos experimentais, toxicológicos ou epidemiológicos

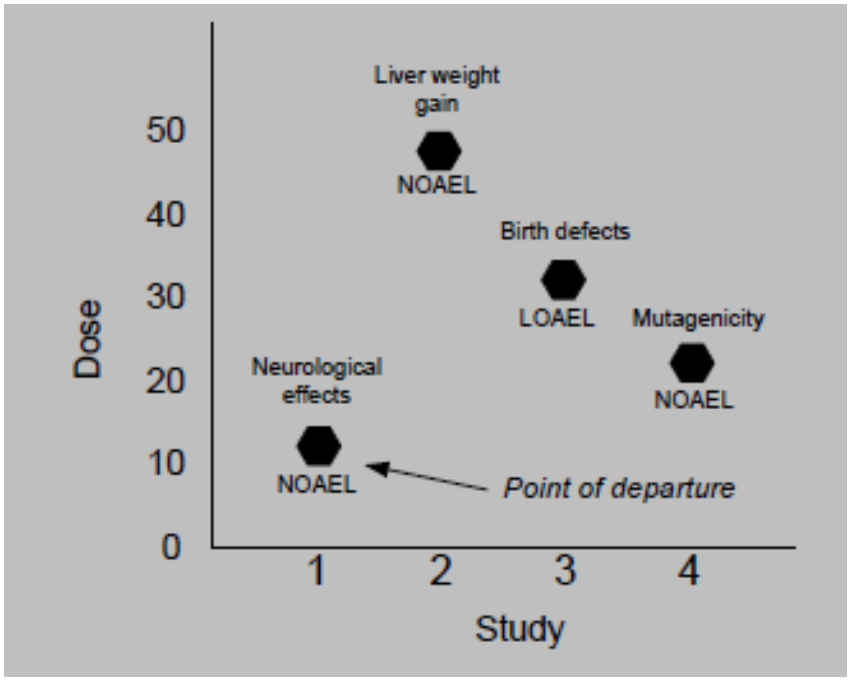
(iv) caracterização do risco: caracterização da exposição + avaliação da dose-resposta ► estimativa de risco para múltiplas exposições.

Dose – resposta (toxicidade)

Substâncias não carcinogênicas

threshold chemicals





Fonte: Khan (2010)

Dose – resposta (toxicidade)

Substâncias não carcinogênicas

$$IDA = \frac{NOAEL}{FI\ (100)}$$

dose abaixo da qual as pessoas podem estar expostas ao longo de toda a vida (70 anos) sem que ocorram danos à saúde

IDT: Ingestão Diária Aceitável

FI: Fator de Incerteza

(FI) (NOAEL x 1 a 10), considerando:

- **as variações interespécie (animal - seres humanos)**
- **as variações intra-espécie (visando proteger grupos ou indivíduos mais sensíveis ou suscetíveis)**
- **a confiabilidade dos estudos ou da base de dados**
- **a natureza ou severidade dos efeitos adversos**

✓ **Estes aspectos são considerados conjuntamente, de forma produtória.**

Dose – resposta (toxicidade) ► caracterização do risco

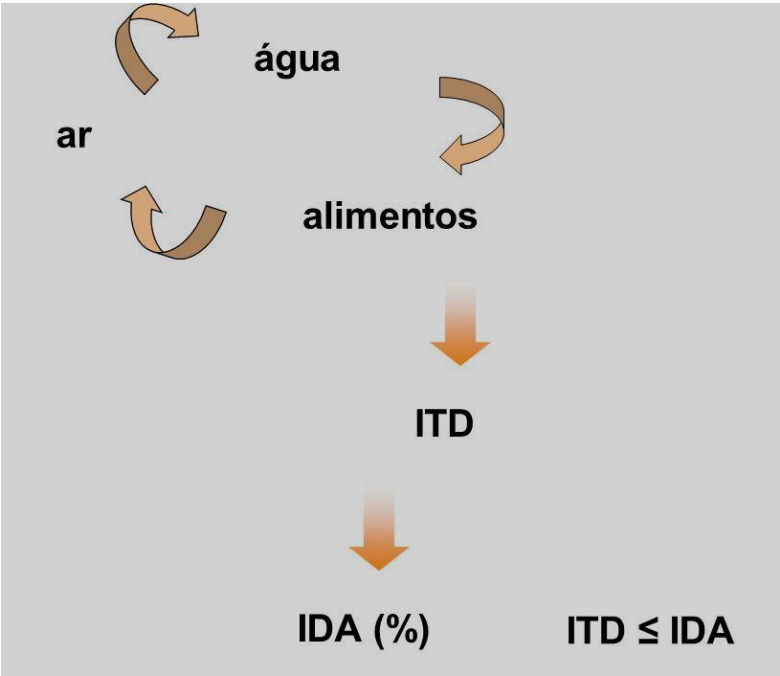
Substâncias não carcinogênicas

O quociente de risco para contaminantes não carcinogênicos é calculado pela fórmula:

Q = Ic / TDI , onde:

Ic = ingresso total do contaminante (mg/kg peso vivo. dia)

TDI = ingresso diário tolerável (mg/kg peso vivo.dia)



Dose – resposta (toxicidade) ► caracterização do risco

Padrão de substâncias químicas não carcinogênicas

O VMP é calculado a partir da IDT, considerando peso corporal médio, a fração da IDT proveniente da água potável e o consumo médio diário de água.

$$VMP = \frac{IDA \times pc \times P}{C \times Cb \times K}$$

(pc) peso corporal médio (60 kg para adultos)

(P) fração da IDA proveniente do consumo de alimentos (50%)

(C) consumo médio diário de alimentos (kg/dia)

(Cb) fração da dieta proveniente de campos fertilizados com biossólidos

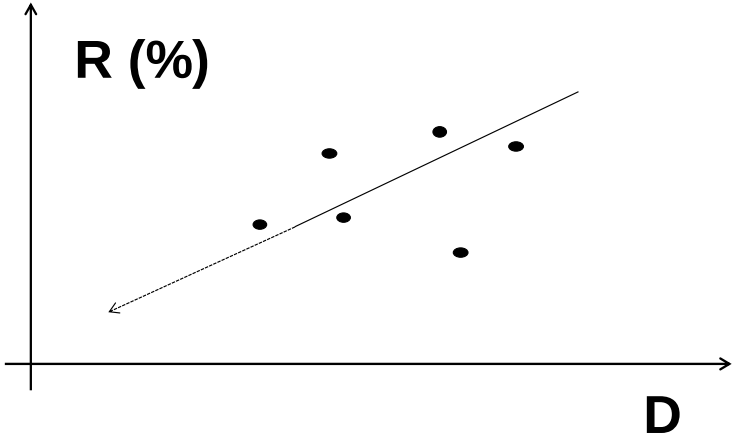
(K) fator de transferência de contaminantes do solo para as plantas

(mg/kg alimento / mg/kg solo)

Dose – resposta (toxicidade) ► caracterização do risco

Substâncias carcinogênicas

Non threshold chemicals



Risco = 1 - exp (-Ic x FC), onde:

exp = exponenciação

Ic = ingresso total do contaminante (mg/kg peso vivo. dia)

FC = fator de carcinogenicidade (ou "slope factor")

Segundo EPA(1989a), quando o risco esperado é muito baixo, ou seja, plotado no início da curva dose-efeito, a equação pode ser simplificada para:

Risco = Ic x FC

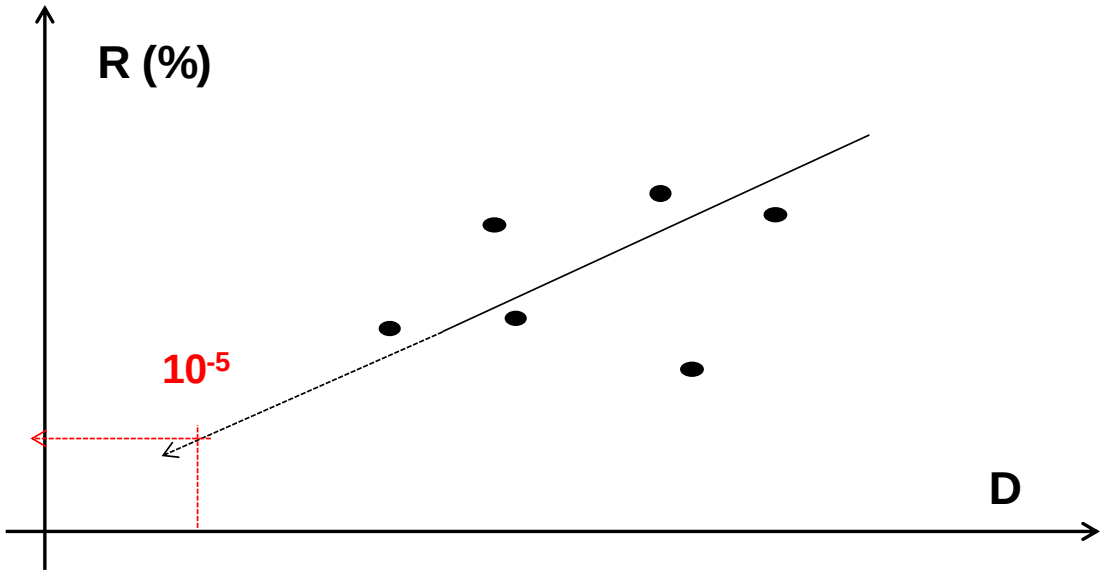
Table 2: CSFs for oral exposure of DDT (mg.kg.day^{-1}) [67]

Species/Strain, Tumour Type	*Male*	*Female*	*Reference*
Mouse/CF-1, Benign	0.8	0.42	Turusov et al. [70]
Mouse/BALB/C, Benign	0.082		Terracini et al. [71]
Mouse/CF-1, Benign, Malignant	0.52	0.81	Thorpe & Walker [72]
Mouse/CF-1, Benign	1.04	0.49	Tomatis & Turusov [73]
Rat/MRC Porton		0.084	Cabral et al. [74]
Rat/Wistar, Benign	0.16	0.27	Rossi et al. [75]

Fonte: Khan (2010)

Dose – resposta (toxicidade) ► caracterização do risco

Padrão de substâncias químicas carcinogênicas



Risco tolerável (10^{-5})

um caso de câncer em cada 100.000 pessoas ao longo de 70 anos

Avaliação Quantitativa de Risco (AQRQ)

(i) identificação do perigo

USEPA – Norma 503 (Part 503 Rule, 1993)

TABLE 5-1 Pollutants Selected for Potential Regulation

Inorganic Chemicals	Organic Chemicals
Arsenic	Aldrin and dieldrin
Cadmium	Benzo[*a*]pyrene
Chromium	Chlordane
Copper	DDT, DDD, DDE
Lead	Heptachlor
Mercury	Hexachlorobenzene
Molybdenum	Hexachlorobutadiene
Nickel	Lindane
Selenium	*N*-Nitrosodimethylamine
Zinc	Polychlorinated biphenyls
	Toxaphene
	Trichloroethylene

DDT, 1,1,1-trichloro-2,2-bis(*p*-chlorophenyl)ethane;
DDE, 1,1-dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethylene;
DDD, 1,1-dichloro-2,2-bis(p-chloropheyl)ethane.
Source: EPA 1992a.

USEPA (2002)

Avaliação Quantitativa de Risco (AQRQ)

(ii) caracterização da exposição

USEPA – Norma 503 (Part 503 Rule, 1993)

TABLE 5-4 Exposure Assessment Pathways Use in Risk Assessment for Land Application of Biosolids

Pathway Number	Receptor	Pathway
1	Human	Biosolids-soil-plant-human
2	Human	Biosolids-soil-plant-home gardener
3	Human	Biosolids-soil-child
4	Human	Biosolids-soil-plant-animal-human
5	Human	Biosolids-soil-animal-human
6	Ecological and agricultural	Biosolids-soil-plant-animal
7	Ecological and agricultural	Biosolids-soil-animal
8	Ecological and agricultural	Biosolids-soil-plant
9	Ecological	Biosolids-soil-soil biota
10	Ecological	Biosolids-soil-soil biota-predator of soil biota
11	Human	Biosolids-soil-airborne dust-human
12	Human	Biosolids-soil-surface water-fish-human
13	Human	Biosolids-soil-air-human
14	Human	Biosolids-soil-groundwater-human

Source: EPA 1995.

USEPA (2002)

Avaliação Quantitativa de Risco (AQRQ)

(ii) caracterização do risco

USEPA – Norma 503 (Part 503 Rule, 1993)

TABLE 2-1 Pollutant Concentration Limits and Loading Rates for Land Application in the United States

Pollutant	(1) Ceiling Concentration Limit (mg/kg)[a]	(2) Cumulative Loading Rate Limit (kg/ha)[a]	(3) Pollutant Concentration Limit (mg/kg)[a]	(4) Annual Pollutant Loading Rate for Distributed Biosolids Exceeding Column 3 (kg/ha/y)[a]
Arsenic	75	41	41	2.0
Cadmium	85	39	39	1.9
Copper	4,300	1,500	1,500	75
Lead	840	300	300	15
Mercury	57	17	17	0.85
Molybdenum	75	-	-	-
Nickel	420	420	420	21
Selenium	100	100	100	5
Zinc	7,500	2,800	2,800	140
Applies to:	All biosolids that are land applied	Bulk biosolids	Bulk or bagged[b] biosolids	Bagged[b] Biosolids where at least one element does not meet column 3

[a] Dry weight basis.
[b] Bagged biosolids are sold or given away in a bag or container containing less than 1 metric ton (MT).
Source: Adapted from 40 CFR, Part 503.

USEPA (2002)

Avaliação Quantitativa de Risco (AQRQ)

(ii) caracterização do risco

Conama 375 / 2006

Tabela 2. Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bario	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Riscos químicos – regulamentação

Avaliação Quantitativa de Risco (AQRQ)

(ii) caracterização do risco

Conama 375 / 2006

Tabela 4. Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas.

Substâncias inorgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg/ha)
Arsênio	30
Bario	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromio	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Riscos químicos – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

Substância Inorgânica	Valor Máximo permitido no lodo de esgoto (mg/kg^{-1} ST)	
	CLASSE 1	CLASSE 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1.500	4.300
Cromo	1.000	3.000
Mercúrio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2.800	7.500

Proposta com base em USEPA (1994), a qual estabelece duas categorias de lodo com base na concentração de elementos químicos tóxicos, a concentração limite máxima (CLM) e a concentração de lodo de excepcional qualidade (EQ)

Classe 1 (mais restritiva) não será necessário o atendimento de um limite máximo de aplicação do metal no solo.

Para a Classe 2 (menos restritiva) é necessário que a aplicação do lodo não exceda um limite de taxa anual de aplicação de metal, exceto a recuperação de áreas degradadas. Para esse caso, é necessário que a aplicação não exceda o limite de dose acumulada do metal.

Riscos químicos – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

O lodo de esgoto Classe 2 somente poderá ser aplicado em solos se a dose acumulada de poluentes, no caso da aplicação em áreas degradadas, e a taxa anual de poluentes, no caso dos demais usos benéficos, em solos, não exceder os limites apresentados na Tabela abaixo

Elementos químicos tóxicos	Taxa anual (kg ha^{-1} ano^{-1}) de aplicação de elementos químicos tóxicos em solos agrícolas	Dose acumulada (kg ha^{-1}) de elementos químicos tóxicos	
		Solos agrícolas	Solos de áreas degradadas
Arsênio	0,7	14	7
Bário	13	260	130
Cádmio	0,15	4 3	1,5
Cromo	15	300	150
Cobre	7,5	150	75
Chumbo	15	300	150
Mercúrio	0,1	2	1
Molibdênio	0,2	4	2
Níquel	3	60	30
Selênio	0,15	3	1,5
Zinco	15	300	150

Valores da Taxa anual (kg ha^{-1} ano^{-1}) de aplicação de elementos químicos tóxicos em solos agrícolas estabelecidos pela Comunidade Econômica Europeia. Valores de dose acumulada (kg ha^{-1}) de elementos químicos tóxicos calculados, considerando-se um cenário de 10 anos de aplicação da Taxa Anual (coluna 1)

Riscos químicos – regulamentação

The regulations for biosolids land application adopted by different countries were set following two different models, either a risk assessment approach or some form of the precautionary principle (Schoof and Houkal, 2005). The latter was preferred in Europe, while the former was adopted in Canada, the US, and the UK (Smith, 2009). This divergence resulted in more stringent concentration limits (either proposed or enacted) in Europe than in the US for both metals (McGrath *et al.*, 1994) and organic compounds (European Commission, 2000; Smith, 2009).

Some European countries and the European Union have instituted or proposed limits to certain organic compounds, such as PCBs, dioxins and furans, PAHs, NP and NPEs, LAS, and DEHP (European Commission, 2000). Besides the differences in the approach to the establishment of environmental regulations mentioned above (e.g., the predominance of the precautionary principle in some countries), evidence of possible toxicological effects was scarce when the standards were developed; both the approach and the lack of evidence contributed to variation between jurisdictions in the limits set for the different contaminants in biosolids (Smith, 2009).

A second round of pollutant selection conducted after the Part 503 rule was enacted designated 29 dioxins, dibenzofurans, and PCBs for risk assessment (NRC, 2002), whose results led the USEPA to conclude that no regulation was necessary to protect human health and the environment from possible risks due to exposure to these chemicals after biosolids land application (Schoof and Houkal, 2005).

Additionally, the Clean Water Act requires the Part 503 rule to be reviewed at least every 2 years to identify additional pollutants requiring regulation. The USEPA has conducted these reviews in 2005, 2007, and 2009. In the last review, the USEPA identified 49 new pollutants to be considered for regulation, and it is in the process of evaluating 26 of those (USEPA, 2012).

Riscos químicos – regulamentação

As previously mentioned, most Canadian provinces and territories currently limit the amount of mainly inorganic compounds in biosolids and/or in amended soils. In most cases, the compounds are eleven elements: nine metals (cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, mercury, molybdenum, nickel, zinc), arsenic and selenium. Only Nova Scotia and Québec set maximum concentrations for organic compounds, dioxins and furans in both instances (CCME, 2010). The Canadian Food Inspection Agency (CFIA) and the Bureau de Normalisation du Québec (BNQ) also set limits for dioxins and furans in biosolids, but for no other organic compounds (CCME, 2010). The inclusion of these compounds and their concentration limits stemmed from different regulations from Germany, the European Union, and the state of Maine in the US (MDDEP, 2012).

Canadian Water Network's
Canadian Municipal Water Consortium

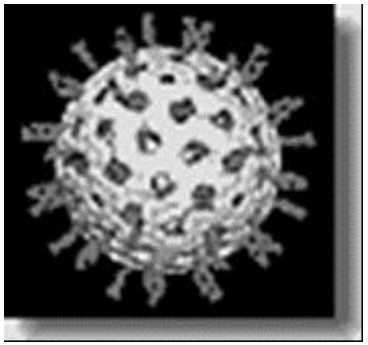
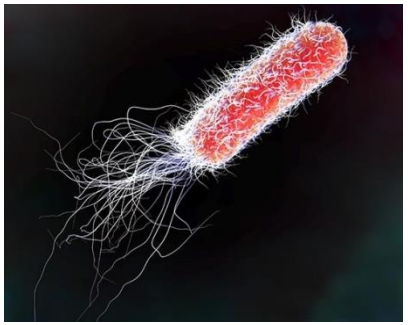
AQRM – aspectos conceituais

(i) identificação do perigo

(ii) caracterização da exposição: caracterização da população exposta, definição da(s) rota(s), quantidade e duração da exposição

(iii) avaliação da dose-resposta: potencial que tem o agente de causar reposta em diversos níveis de exposição: estudos experimentais, toxicológicos ou epidemiológicos

(iv) caracterização do risco: caracterização da exposição + avaliação da dose-resposta ► estimativa de risco para múltiplas exposições.

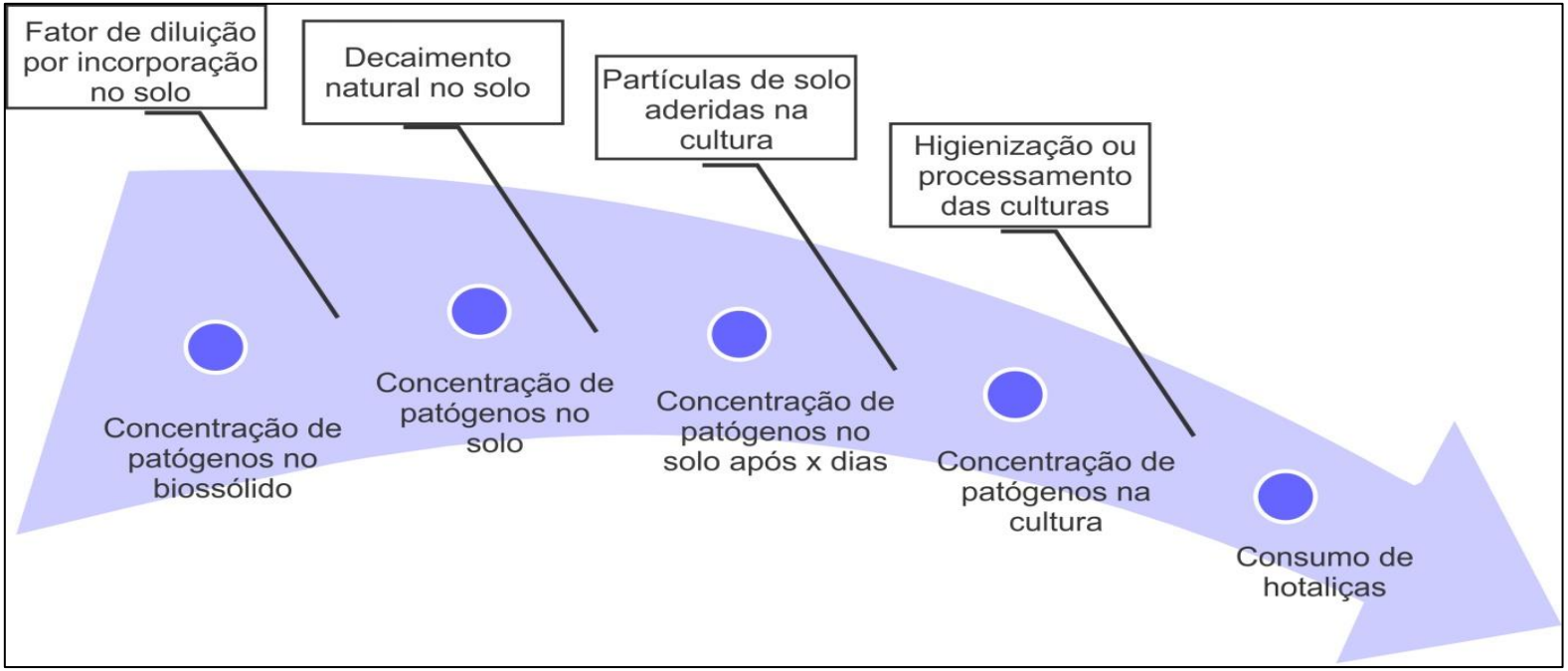



Uso agrícola biossólidos: AQRM

Modelo exposição + modelo dose - resposta

Risco aos consumidores de hortaliças

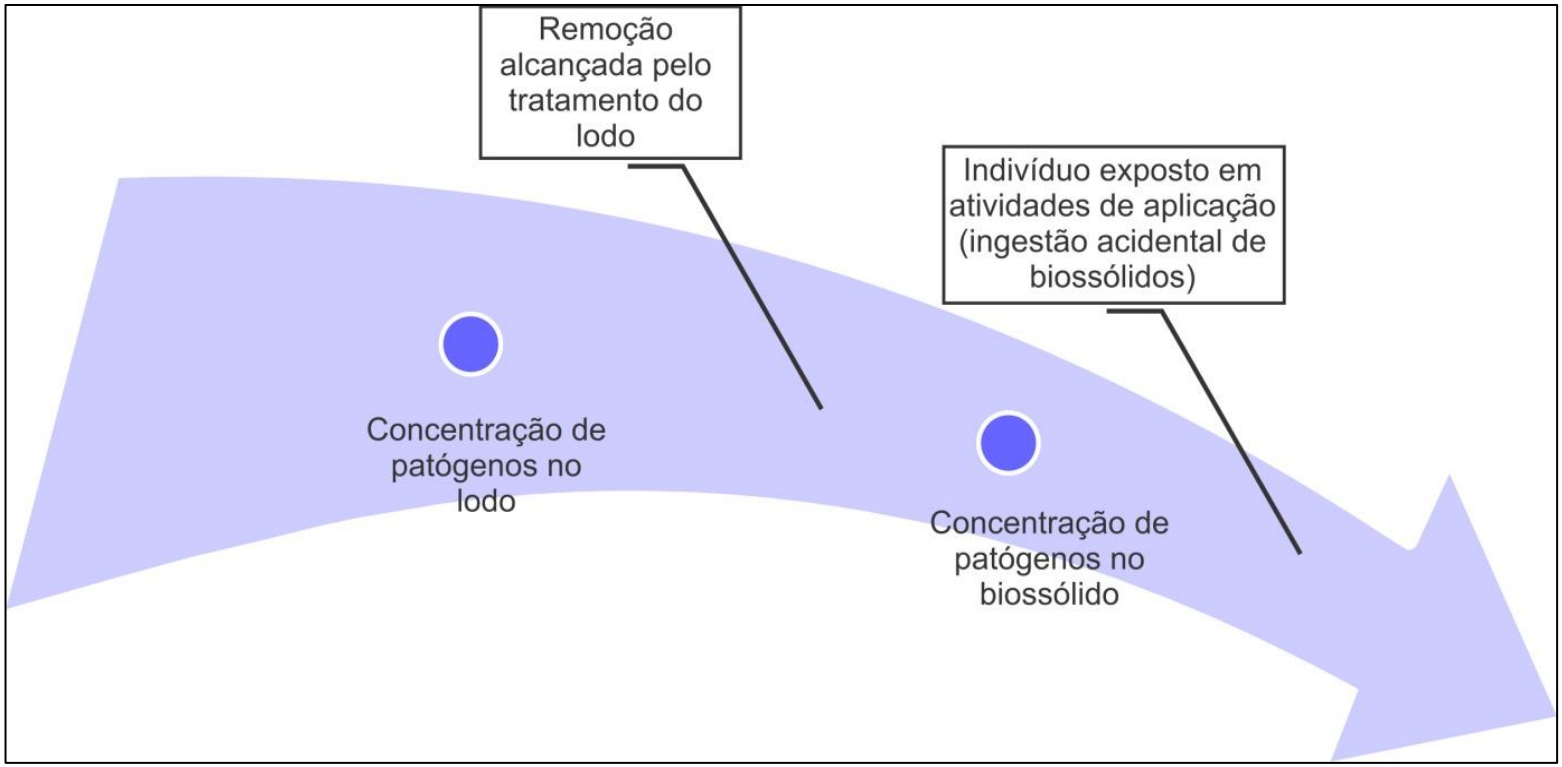
$$d = C_{pat.bio} \times F_{dil.solo} \times D_{solo}(10^{-k.t}) \times R_{solo/cultura} \times R_{higienização} \times C_{hortaliças}$$



Uso agrícola biossólidos: AQRM

Risco aos agricultores envolvidos na aplicação de biossólidos

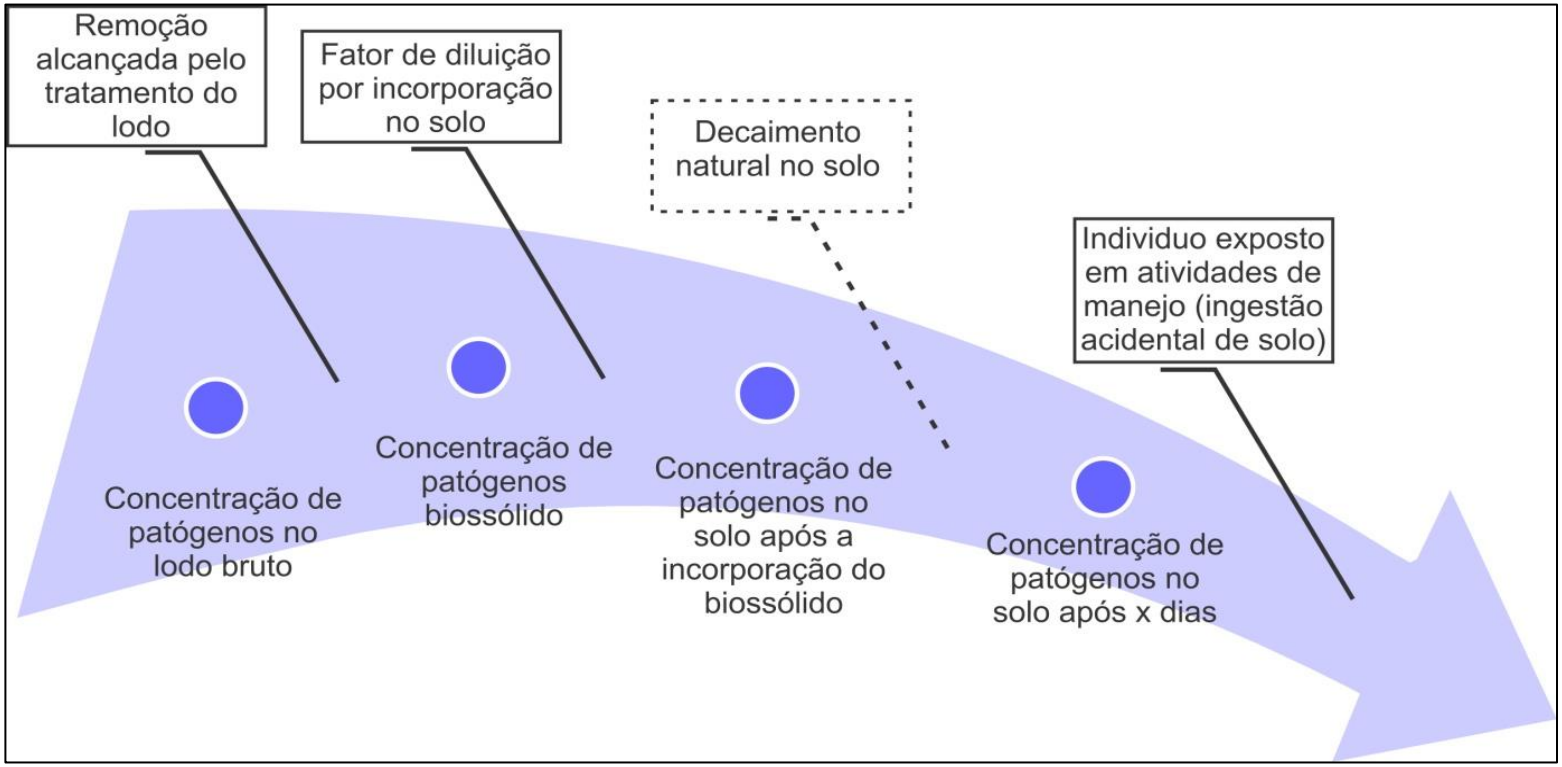
$$d = C_{pat.bio} \times I_{bio}$$



Uso agrícola biossólidos: AQRM

Estimativa de riscos aos agricultores envolvidos no manejo de cultivos após incorporação de biossólidos

$$d = C_{pat.bio} \times F_{dil.solo} \times D_{solo} 10^{-k.t} \times I_{solo}$$



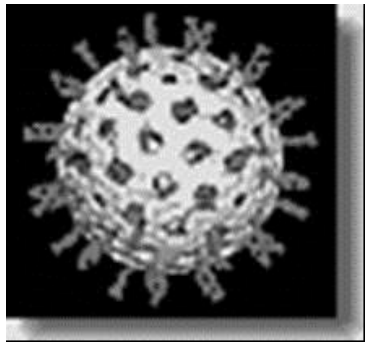
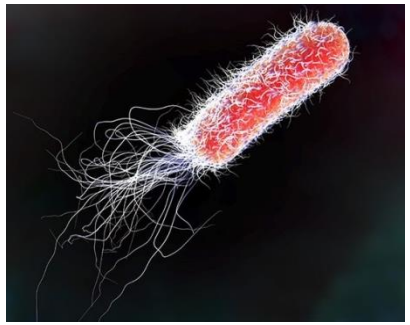
AQRM – aspectos conceituais

(i) identificação do perigo

(ii) caracterização da exposição: caracterização da população exposta, definição da(s) rota(s), quantidade e duração da exposição

(iii) avaliação da dose-resposta: potencial que tem o agente de causar reposta em diversos níveis de exposição: estudos experimentais, toxicológicos ou epidemiológicos

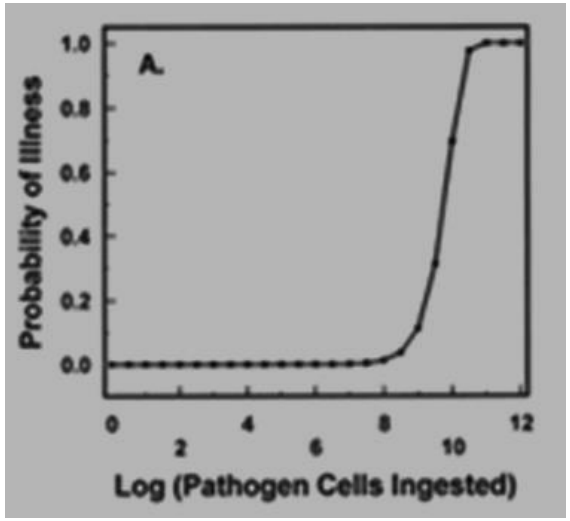
(iv) caracterização do risco: caracterização da exposição + avaliação da dose-resposta ► estimativa de risco para múltiplas exposições.

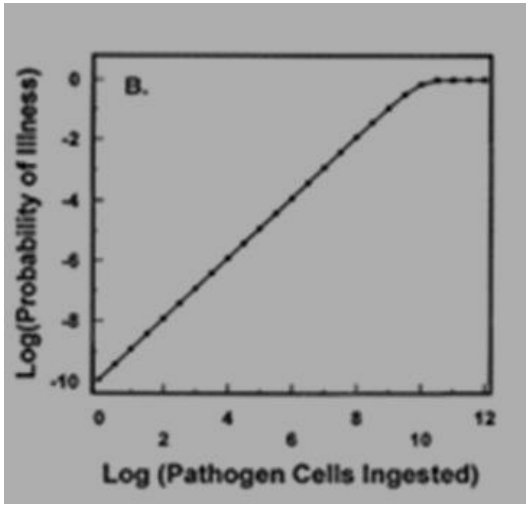



Avaliação Quantitativa de Risco (AQR)

(iii) avaliação da dose-resposta: potencial que tem o agente de causar reposta em diversos níveis de exposição: estudos experimentais ou epidemiológicos

► funções sigmoidais ► dose infectante mínima" vs. "single hit models"





Curva dose-resposta (modelo exponencial)

(A) log dose x resposta; (B) log dose x log resposta

Buchanan *et al.* (2000)

AQRM:aspectos conceituais

Modelo exposição + modelo dose - resposta

Exposição única

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

$$Pi_{(d)} = 1 – \exp(- r d)$$

$Pi_{(d)}$ = probabilidade de infecção para uma única exposição

d = número de organismos ingeridos por exposição (dose)

α e r = parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro

DI_{50} = dose infectante média

múltiplas exposições

$$Pi_{(A)} = 1 – [1 - PI^{(d)}]^{n}$$

$Pi_{(A)}$ = probabilidade anual de infecção decorrente de n exposições à mesma dose (d)

n = número de exposições por ano

Haas et al (1999)

Lodo

Biossólidos

Fonte: Comparini (2001)

Concentração (admissível) do agente na matriz ambiental (lodo)

Modelo exposição ◄ dose d máxima ◄ Modelo dose-resposta

Risco tolerável

Risco microbiológico - regulamentação

EUA (Part 503 Rule, 1993) UK (Safe Sludge Matrix, 2001), Brasil (Conama 375, 2006)

Dupla barreira de proteção

critérios de qualidade microbiológica do lodo + restrições de uso

"Risco nulo"

País	*E. coli* ou CTer	*Salmonella*	Vírus entéricos	Ovos de helmintos
Biossólidos Classe A				
EUA	< 10^3 CTer / g ST	< 3 NMP / 4 g ST	< 1 UFP /4 g ST	< 1 / 4g ST
Reino Unido	< 10^3 *E. coli* / g ST	ND em 2 g ST	NE	NE
Brasil	< 10^3 CTer / g TS	ND em 10 g ST	< 0,25 UFP /g ST	< 0,25 / g ST
Biossólidos Classe B				
EUA	< 2 x10^6 CTer / g ST	NE	NE	NE
Reino Unido	< 10^5 *E. coli* / g ST	NE	NE	NE
Brasil	< 10^6 CTer/ g ST	NE	NE	< 10 / g ST

Risco microbiológico - regulamentação

País	Intervalo para Cultivo (C) / Colheita (Co)				Pastejo (P), cultivo (C) ou colheita (Co) de forrageiras e pastagens	Acesso público
	Culturas alimentícias			não alimentícias		
	rente ao solo	Raízes	Outras			
Biossólidos Classe A						
EUA	SR	SR	SR	SR	SR	SR
Reino Unido	10 meses (Co)	10 meses (Co)	10 meses (Co)	3 semanas (Co)	3 semanas (P) (Co)	
Brasil	48 meses (C)		SR	SR	24 meses (C)	30 dias
Biossólidos Classe B						
EUA	14 meses (I)	20-38 meses (Co)	30 dias (Co)	30 dias (Co)	30 dias (P)	30 dias - 12 meses
Reino Unido	12 - 30 meses (Co)	12 - 30 meses (Co)	12 - 30 meses (Co)	3 semanas (Co)	3 semanas (P) (Co)	
Brasil	NP			6 meses (C)	NP	12 meses

Classe B: banimento (2011), a não ser que "sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso".

Conama 375 / 2006: 'Risco mais que nulo' (??)

Risco microbiológico - regulamentação

Classe B: processos de redução significativa de patógenos

Classe A: processos de redução adicional de patógenos

EUA (Part 503 Rule, 1993) UK (Safe Sludge Matrix, 2001)

Monitoramento patógenos ou

indicadores ou

controle operacional (tempo x temperatura)

Conama 375 / 2006:

Monitoramento patógenos e

indicadores

~~controle operacional~~

Risco microbiológico - regulamentação

Classe A: **processos de redução adicional de patógenos**

EUA (Part 503 Rule, 1993)

(i) < 1.000 Cter/g ST ou (ii) < 3 Salmonella spp./ 4 g ST

+

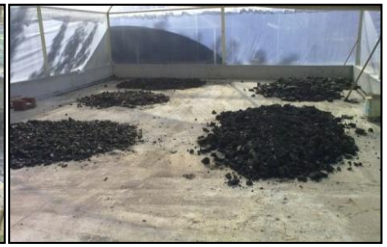
(iii) tempo x temperatura ou (iv) tratamento alcalino, em condições controladas de tempo, temperatura, pH e teor de sólidos ou (v) o lodo é tratado por PRAP ou processo equivalente.

ou

monitoramento microbiológico

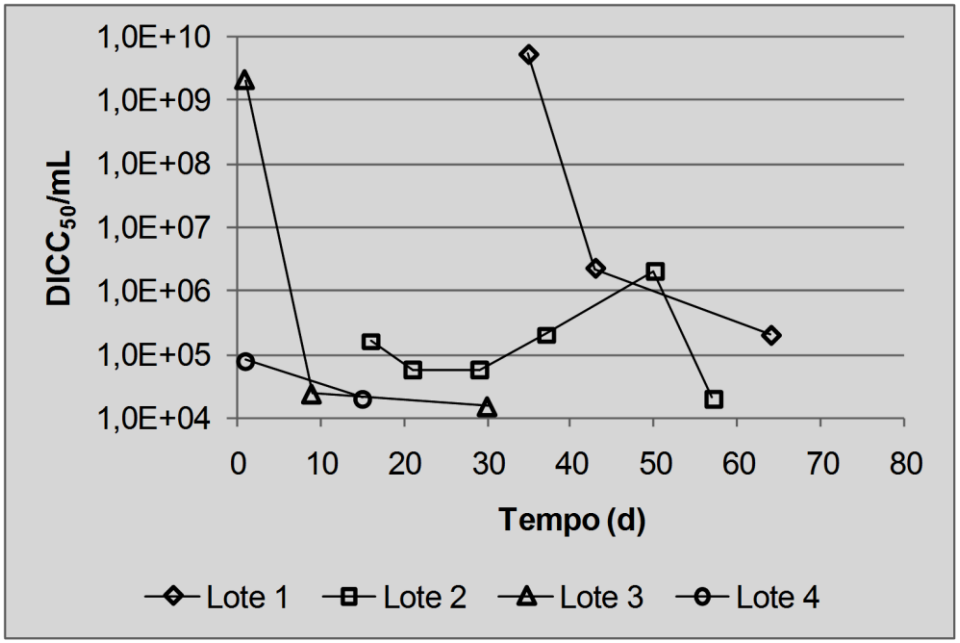
(vi) vírus entéricos < 1 UFP / 4g ST e (vii) helmintos < 1 ovo viável / 4g ST

Uso agrícola biossólidos: AQRM – experimentos



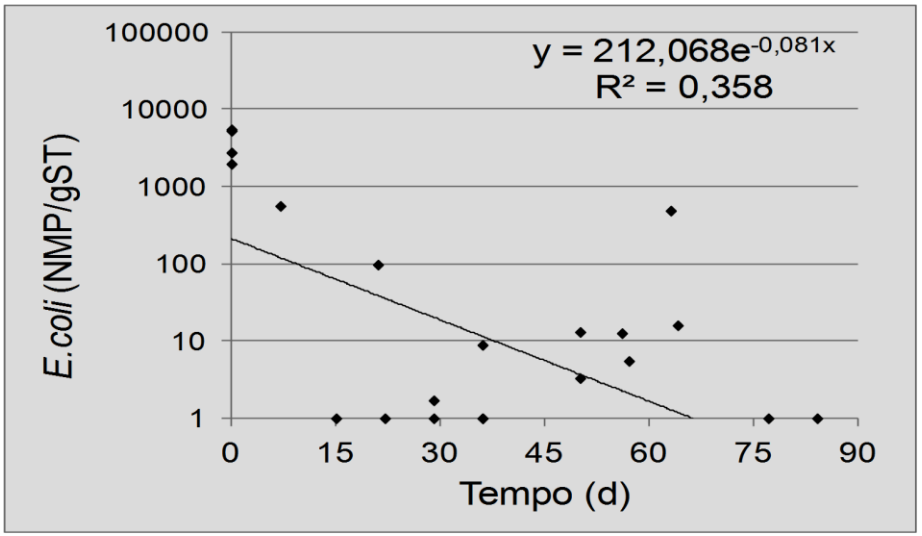
Sementeira (alface) **Mudas de couve**

Uso agrícola biossólidos: AQRM – experimentos



Decaimento de enterovírus em amostras de lodo submetidas à secagem em estufa.

Uso agrícola biossólidos: AQRM – experimentos



Nível de contaminação	K_{bT} (R^2)	K_{b20}
Biossólidos com < 10^4 *E.coli*(gST)$^{-1}$	0,0263 (0,5671)	0,028332
Biossólidos com 10^4 - 10^5 *E.coli*(gST)$^{-1}$	0,1341 (0,7770)	0,144461
Biossólidos com 10^5 - $5x10^5$ *E.coli*(gST)$^{-1}$	0,1151 (0,8719)	0,123993
Biossólidos com > $5x10^5$ *E.coli*(gST)$^{-1}$	0,1432 (0,8944)	0,154264
Conjunto de resultados	0,0738 (0,3360)	0,079502

Incorporação de biossólidos ao solo → redução 1-3 log_{10} de *E. coli* e 'desaparecimento' de ovos viáveis de *Ascaris* sp.

Uso agrícola biossólidos: AQRM – experimentos

Escherichia coli e ovos de helmintos em alface produzida com aplicação de biossólidos de qualidade microbiológica variada.							
Parâmetro	**C 1**	**C 2**	**C 3**	**C 4**	**C 5**	**C 6**	**C 7**
***E.coli* (NMP/g de hortaliça)**	**ND**	**0,2**	**NR(*)**	**ND**	**ND**	**2,83**	**1,64**
Helmintos (ovos/g de hortaliça)	**ND**	**ND**	**NR(*)**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**
Parâmetro	**C 8**	**C 9**	**C 10**	**C 11**	**C 12**	**C 13**	**C 14**
***E.coli* (NMP/g de hortaliça)**	**0,15**	**0,51**	**0,08**	**0,34**	**ND**	**0,1**	**0,08**
Helmintos (ovos/g de hortaliça)	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**

Escherichia coli e ovos de helmintos em cenouras							
Parâmetro	**C 1**	**C 2**	**C 3**	**C 4**	**C 5**	**C 6**	**C 7**
***E.coli* (NMP/g de hortaliça)**	**NR(*)**	**NR(*)**	**NR(*)**	**3,88**	**3,8**	**5,8**	**9,8**
Helmintos (ovos/g de hortaliça)	**NR(*)**	**NR(*)**	**NR(*)**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**
Parâmetro	**C 8**	**C 9**	**C 10**	**C 11**	**C 12**	**C 13**	**C 14**
***E.coli* (NMP/g de hortaliça)**	**0,13**	**0,07**	**0,42**	**0,34**	**NR(*)**	**ND**	**NR(*)**
Helmintos (ovos/g de hortaliça)	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**

Escherichia coli e ovos de helmintos em couve							
Parâmetro	**C 8**	**C 9**	**C 10**	**C 11**	**C 12**	**C 13**	**C 14**
***E.coli* (NMP/g de hortaliça)**	**ND**	**ND**	**0,10**	**0,05**	**ND**	**ND**	**ND**
Helmintos (ovos/g de hortaliça)	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**	**ND**

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Classe A
PRAP

Classe B
PRSP

Concentrações de patógenos nas classes idealizadas de biossólidos			
Concentrações	Classe de biossólido		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Salmonella (non-Typhi) (org/gST)	0,0 - 0,25	0,25 - 1,0	1,0 -10
Rotavírus (org/gST)	0,0 - 0,25	0,25 - 1,0	1 ,0 - 10
Cryptosporidium parvum (org/gST)	0,0 - 0,10	0,10 – 1,0	1,0 - 10
Giardia duodenalis (org/gST)	0,0 - 0,10	0,10 – 0,5	0,5 - 1,0
Ascaris lumbricoides (org/gST)	0,0 - 0,25	0,25 - 2,0	1,0 - 10

Decaimento dos microrganismos no solo: dados experimentais e de literatura; ciclos médios de cultivo das culturas (EMBRAPA, 2010)

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados ao consumo de hortaliças produzidas com biossólidos 'Classe 1'							
		tubérculos		folhosas		frutosas	
Consumo especificado por Unidades de Federação	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	$<10^{-14}$	10^{-10}	10^{-12}	10^{-10}	$<10^{-14}$	10^{-10}
	rotavírus	10^{-9}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-6}
	Cryptosporidium	10^{-12}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-12}	10^{-9}
	Giardia	10^{-11}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-7}	10^{-11}	10^{-8}
	Ascaris lumbricoides	10^{-6}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}
Consumo especificado por faixas de renda mensal	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	$<10^{-14}$	10^{-10}	10^{-12}	10^{-10}	$<10^{-14}$	10^{-10}
	rotavírus	10^{-9}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-5}	10^{-9}	10^{-6}
	Cryptosporidium	10^{-12}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-12}	10^{-9}
	Giardia	10^{-12}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-7}	10^{-11}	10^{-8}
	Ascaris lumbricoides	10^{-6}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados ao consumo de hortaliças produzidas com biossólidos 'Classe 2'							
		tubérculos		folhosas		frutosas	
Consumo especificado por Unidades de Federação	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-12}	10^{-9}	10^{-11}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-9}
	rotavírus	10^{-8}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-8}	10^{-5}
	Cryptosporidium	10^{-11}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-7}	10^{-11}	10^{-8}
	Giardia	10^{-11}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-7}
	Ascaris lumbricoides	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}
Consumo especificado por faixas de renda mensal	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-12}	10^{-9}	10^{-11}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-9}
	rotavírus	10^{-8}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-8}	10^{-5}
	Cryptosporidium	10^{-11}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-7}	10^{-11}	10^{-8}
	Giardia	10^{-11}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-7}
	Ascaris lumbricoides	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados ao consumo de hortaliças produzidas com biossólidos 'Classe 3'							
		tubérculos		folhosas		frutosas	
Consumo especificado por Unidades de Federação	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-11}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-11}	10^{-8}
	rotavírus	10^{-7}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-4}
	Cryptosporidium	10^{-10}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-10}	10^{-7}
	Giardia	10^{-10}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-10}	10^{-7}
	Ascaris lumbricoides	10^{-4}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}
Consumo especificado por faixas de renda mensal	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-11}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-11}	10^{-8}
	rotavírus	10^{-7}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-4}
	Cryptosporidium	10^{-10}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-10}	10^{-7}
	Giardia	10^{-10}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-10}	10^{-7}
	Ascaris lumbricoides	10^{-4}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados à ingestão de patógenos durante a aplicação de biossólidos Classes 1, 2 e 3				
Aplicação de biossólido Classe 1				
Patógeno	**Aplicação em pequenas propriedades**		**Aplicação em larga escala**	
	Mediana	**95%**	**Mediana**	**95%**
***Salmonellas*(non-typhi)**	10^{-5}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-5}
rotavírus	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}
Cryptosporidium parvum	10^{-4}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-4}
Giardia	10^{-3}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-3}
Ascaris lumbricoides	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}
Aplicação de biossólido Classe 2				
Patógeno	**Aplicação em pequenas propriedades**		**Aplicação em larga escala**	
	Mediana	**95%**	**Mediana**	**95%**
***Salmonella* (non-typhi)**	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}
rotavírus	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}
Cryptosporidium parvum	10^{-2}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-3}
Giardia	10^{-2}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}
Ascaris lumbricoides	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}
Aplicação de biossólido Classe 3				
Patógeno	**Aplicação em pequenas propriedades**		**Aplicação em larga escala**	
	Mediana	**95%**	**Mediana**	**95%**
***Salmonella* (non-typhi)**	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}
rotavírus	10^{0}	10^{0}	10^{-1}	10^{-1}
Cryptosporidium parvum	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}
Giardia	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}
Ascaris lumbricoides	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados à ingestão acidental de solo adubado com biossólidos 'Classe 1' durante atividades de manejo do sistema solo-planta							
	Patógeno	Hortaliças		Culturas anuais (peq. propriedades)		Culturas anuais (larga escala)	
Intervalo de 4 a 6 meses entre aplicação e cultivo		Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	P95%
	Salmonella (non-typhi)	$< 10^{-14}$	10^{-9}	$< 10^{-14}$	10^{-10}	$< 10^{-14}$	$x10^{-11}$
	Rotavírus	10^{-10}	10^{-5}	10^{-10}	10^{-6}	10^{-12}	10^{-7}
	Cryptosporidium	$< 10^{-14}$	10^{-8}	$< 10^{-14}$	10^{-9}	$< 10^{-14}$	10^{-10}
	Giardia	$< 10^{-14}$	10^{-8}	$< 10^{-14}$	10^{-8}	$< 10^{-14}$	10^{-10}
	Ascaris lumbricoides	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-5}
Não considerado intervalo entre aplicação e cultivo	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (n on-typhi)	10^{-7}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-8}
	rotavírus	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-4}
	Cryptosporidium	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-6}
	Giardia	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-6}
	Ascaris lumbricoides	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-5}

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados à ingestão acidental de solo adubado com biossólidos 'Classe 2' durante atividades de manejo do sistema solo-planta							
	Patógeno	Hortaliças		Culturas anuais (peq. propriedades)		Culturas anuais (larga escala)	
Intervalo de 4 a 6 meses entre aplicação e cultivo		Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-13}	10^{-8}	$< 10^{-14}$	10^{-9}	$< 10^{-14}$	10^{-10}
	Rotavírus	10^{-9}	10^{-5}	10^{-10}	10^{-5}	10^{-11}	10^{-6}
	Cryptosporidium	10^{-12}	10^{-7}	10^{-13}	10^{-7}	$< 10^{-14}$	10^{-9}
	Giardia	10^{-12}	10^{-7}	10^{-13}	10^{-8}	$< 10^{-14}$	10^{-9}
	Ascaris lumbricoides	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-4}
Não considerado intervalo entre aplicação e cultivo	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-7}
	rotavírus	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-3}
	Cryptosporidium	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-5}
	Giardia	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}
	Ascaris lumbricoides	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-4}

Uso agrícola biossólidos: AQRM – estimativa riscos

Riscos pppa associados à ingestão acidental de solo adubado com biossólidos 'Classe 3' durante atividades de manejo do sistema solo-planta							
	Patógeno	Hortaliças		Culturas anuais (peq. propriedades)		Culturas anuais (larga escala)	
Intervalo de 4 a 6 meses entre aplicação e cultivo		Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-12}	10^{-7}	10^{-12}	10^{-8}	$< 10^{-14}$	10^{-9}
	Rotavírus	10^{-8}	10^{-4}	10^{-9}	10^{-4}	10^{-10}	10^{-5}
	Cryptosporidium	10^{-11}	10^{-6}	10^{-12}	10^{-6}	10^{-13}	10^{-8}
	Giardia	10^{-12}	10^{-6}	10^{-12}	10^{-7}	$< 10^{-14}$	10^{-8}
	Ascaris lumbricoides	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-3}
Não considerado intervalo entre aplicação e cultivo	Patógeno	Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
	Salmonella (non-typhi)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-6}
	rotavírus	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}
	Cryptosporidium	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-4}
	Giardia	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-5}
	Ascaris lumbricoides	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-3}

Riscos microbiológico – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

O lodo de esgoto sanitário a ser destinado para uso benéfico, em solos, será classificado em Classe A ou Classe B, de acordo com requisitos de redução de patógenos, definidos nos parágrafos 1 e 2 do presente artigo.

- **Para que o lodo de esgoto sanitário seja classificado como Classe A, deverá atender ao limite máximo de 10^3 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais (g^{-1} de ST) e ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos descritos na Tabela 4, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais, e nos incisos I e II do presente parágrafo (tempo, temperatura, pH)**

Riscos microbiológico – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

Usos que possuem restrição para aplicação de lodo de esgoto Classe A.

Uso	Restrição
Cultivo de alimentos consumidos crus cuja parte comestível tenha contato com o solo	Não colher antes de 2 meses após a última aplicação de lodo.
Pastagens	Sem pastejo por 1 mês após a última aplicação de lodo Forrageiras sem colheita por 1 mês após a última aplicação de lodo
Solos de locais com alto potencial de exposição pública, como, por exemplo, jardins, parques e campos de prática de esportes.	Acesso restrito por quatro meses após a última aplicação de lodo.

- Não há restrição no que se refere ao tempo entre a aplicação do lodo de esgoto sanitário Classe A e o cultivo ou colheita nas seguintes situações:

  I - Cultivo de produtos alimentícios que não têm contato com o solo;

  II - Cultivo de produtos alimentícios que não são consumidos crus;

  IIII - Cultivo de produtos não alimentícios.

- Não há restrição no que se refere ao tempo sem acesso à área de aplicação de lodo de esgoto sanitário Classe A

Riscos microbiológico – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

- **Para que o lodo de esgoto sanitário seja classificado como Classe B, deverá atender ao limite máximo de 10^6 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais (g^{-1} de ST) ou ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos descritos na Tabela 5, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais, e no inciso I do presente parágrafo.**

I. Outros processos para obtenção de lodo de esgoto Classe A (e B), além daqueles especificados na Tabela 4, poderão ser propostos, desde que haja comprovação de sua eficiência em termos de redução de patógenos e que sejam aceitos pelo órgão ambiental.

II. No caso de não especificação pela UGL do processo utilizado para redução de patógenos, ou de falha na demonstração de atendimento sistemático às condições operacionais estipuladas para os processos de tratamento especificados na Tabela 4, deverá ser demonstrado que o lote de lodo de esgoto Classe A atende ao limite de menos que 1 (um) ovo viável de helmintos (nematoides intestinais humanos) por grama de sólido total (g^{-1} de ST) de lodo de esgoto

Riscos microbiológico – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

O lodo de esgoto Classe B poderá ser aplicado em solos para os usos listados na Tabela 8, observadas as respectivas restrições

Uso	Restrição
Cultivo de alimentos não consumidos crus	Não colher antes de quatro meses após a última aplicação de lodo.
Pastagens	Sem pastejo por 2 meses após a última aplicação. Forrageiras sem colheita em quatro meses após a última aplicação.
Árvores frutíferas	Aplicação deve ser realizada após a colheita.

Riscos microbiológico – regulamentação

Proposta resolução CTTE Abes

- **É proibida a utilização de lodo de esgoto sanitário Classe B no cultivo de produtos alimentícios consumidos crus.**
- **Não há restrição no que se refere ao tempo sem acesso à área de aplicação de lodo de esgoto sanitário Classe B em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas**
- **É proibida a aplicação de lodo de esgoto sanitário Classe B em solos de locais com alto potencial de exposição pública, como, por exemplo, jardins, parques e campos de prática de esportes**
- **Não há restrição à de aplicação de lodo de esgoto sanitário Classe B em solos de locais com baixo potencial de exposição pública, como, por exemplo, jardins e canteiros de rodovias**

- **Não realizar a aplicação de lodo de esgoto classe B na forma manual;**
- **A aplicação de lodo de esgoto classe B deverá ser feita, obrigatoriamente, sem contato humano direto, com uso de tratores ou outros implementos agrícolas, com sua incorporação logo após sua disposição sobre o solo**

Riscos microbiológico – regulamentação

Proposta resolução

CTTE Abes

O lodo de esgoto a ser destinado para uso benéfico, em solos, deverá atender, pelo menos, a um dos critérios de redução de atratividade de vetores apresentados na Tabela 6, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais e, ou de variáveis de controle de qualidade do lodo tratado (tempo, temperatura, pH, SV)

O lodo de esgoto sanitário a ser destinado para uso benéfico, em solos, será classificado em A1, A2, B1 e B2 e deve atender, concomitantemente, aos seguintes requisitos:

I. limites em relação à presença de elementos químicos tóxicos;

II. redução de patógenos; e

III. redução na atratividade de vetores.

MUITO OBRIGADO !!!!