

## REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS À SAÚDE E AO AMBIENTE

### RESUMO

É consenso, na literatura, que não existe uniformização de metodologias e processos para avaliação de risco na área da saúde e do meio ambiente. Neste trabalho foi realizada uma ampla revisão da produção científica nacional e internacional sobre a aplicação das principais metodologias de avaliação de risco. É apresentada uma análise comparativa detalhada do processo avaliativo de risco, considerando principalmente as metodologias USEPA, ATSDR e OMS, as quais revelaram ter a maior aplicação em artigos reportados na literatura nos últimos anos. O propósito central deste estudo foi abrir, em um marco único, as vantagens, desvantagens e as ferramentas incluídas nas metodologias reportadas. Esta análise visa, por um lado, oferecer subsídios para a possível elaboração de padrões de novas metodologias de avaliação de riscos à saúde e meio ambiente; e por outro lado, disponibilizar suporte informativo para a seleção das metodologias mais adequadas a serem aplicadas em cada caso. São discutidas as áreas cobertas por cada metodologia, suas diferenças e procedimentos comuns, assim como questões do processo avaliativo de risco que ainda permanecem em aberto. A análise realizada na presente pesquisa poderá contribuir na possível uniformização de métodos de avaliação de risco às condições da saúde coletiva e aos ecossistemas brasileiros, e para subsidiar a formulação de uma nova metodologia mais adequada e completa.

**PALAVRAS-CHAVES:** Avaliação de Risco; Risco Ambiental; Risco à Saúde.

## INTEGRATIVE REVIEW ON THE APPLICATION OF THE METHODOLOGIES FOR EVALUATING RISKS TO HEALTH AND THE ENVIRONMENT

### ABSTRACT

It is known that there isn't a uniform methodology of the risk assessment, in health and environment. In this work was performed an extensive review in national and international scientific publications that apply the main methodologies for risk assessment. Was also presented, a detailed comparative analysis of the risk assessment process, especially considering the methodologies USEPA, ATSDR and WHO. In the last couple of years these methods showed to have the greatest application in reported research. The purpose of this study was to open a discussion about the advantages and disadvantages and the tools included in the reported methods. This analysis aims, firstly to offer subsidies for the possible development of new patterns of risk assessment methodologies, and secondly to provide enough information that will help select the most appropriate methodologies to be applied in each case. Were analyzed cover areas by each methodology, their differences and common procedures, as well issues of the risk assessment process that still remain open. The analysis performed in this study may contribute to the possible standardization of risk assessment methods that will take in consideration the public health conditions and the Brazilian ecosystems. This will also support the formulation of a new and improve methodology.

**KEYWORDS:** Risk Assessment; Environmental Risk; Health Risk.

*Revista Ibero-Americana de  
Ciências Ambientais, Aquidabã,  
v.5, n.1, Dez 2013, Jan, Fev, Mar,  
Abr, Mai 2014.*

ISSN 2179-6858

SECTION: *Articles*  
TOPIC: *Gestão Ambiental*



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2014.001.0007

**Sergio Fred Ribeiro Andrade**

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2756638501081370>  
[sergiof@uesc.br](mailto:sergiof@uesc.br)

**Fermin Garcia Velasco**

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2679073082540151>  
[fermin@uesc.br](mailto:fermin@uesc.br)

**Francisco Heriberto Martínez Luzardo**

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4333332503448953>  
[fmartinezluzardo@gmail.com](mailto:fmartinezluzardo@gmail.com)

Received: 28/10/2013

Approved: 15/04/2014

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

### Referencing this:

ANDRADE, S. F. R.; VELASCO, F. G.; LUZARDO, F. H. M..  
*Revisão integrativa sobre aplicação das metodologias  
de avaliação de riscos à saúde e ao ambiente. Revista  
Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã,  
v.5, n.1, p.95-114, 2014. DOI:  
[http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-  
6858.2014.001.0007](http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2014.001.0007)*

## INTRODUÇÃO

A OMS/IPCS (2010) estima que mais de 25% da incidência global de doenças está ligada a fatores ambientais, incluindo a exposição a substâncias químicas tóxicas. A exposição ao chumbo, por exemplo, é responsável por 3% da incidência de doenças cerebrovasculares e 2% de doença isquêmica do coração, no mundo. Cerca de 9% da incidência global de câncer de pulmão é atribuível à exposição ocupacional por substâncias tóxicas, e 5% à poluição do ar.

Os problemas originados pelos contaminantes dispostos no meio ambiente estão fundamentalmente ligados a atividade humana. As atividades econômica, industrial e agrícola são as principais fontes que provocam a poluição ambiental. A análise de avaliação de risco se revela como uma ferramenta importante na busca de soluções a estes problemas. Em trabalho recente de Souza (2012), é destacada a atualidade e importância do tema, e, em particular, a potencialidade da utilização desta ferramenta para auxiliar os Sistemas de Gestão Ambiental do setor produtivo.

Desta forma, os diferentes modelos de avaliação de risco precisam incluir recursos e métodos que permitam aferir, de forma clara e objetiva, os riscos reais, com instrumentos para mensuração dos perigos e medidas para mitigação das ações nocivas como auxílio à tomada de decisões.

Nos Estados Unidos, União Europeia e em outros países, os procedimentos de avaliação de risco à saúde humana por produtos nocivos fazem parte de uma legislação influente que inclui a aplicação de procedimentos bem definidos para eliminação das fontes emissoras de resíduos perigosos. Mesmo assim, ainda são metodologias sem unificação, com abordagens diversas e muitas vezes são direcionadas para avaliar riscos no processo industrial.

Outra questão importante diz respeito à “importação” de metodologias, e até de bases de dados com referências toxicológicas, provenientes dos Estados Unidos e da Europa, por exemplo, para aplicação, por países em desenvolvimento, sem as necessárias adequações nos parâmetros regionais ou locais.

Segundo o Ministério da Saúde (2006), no Brasil, os métodos utilizados para esses fins são aplicados com base na metodologia da ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*), o que não necessariamente considera a realidade situacional, ambiental e regional brasileira.

Nesse contexto, surgiu a motivação para o presente trabalho de revisão, em consideração à ausência de uma linguagem comum para tratamento de avaliação de riscos ambientais e à saúde, assim como da necessidade de comparação dos diversos procedimentos, nos mais variados métodos de avaliação, com propósito de contribuir para uma futura indicação de métodos para padronização de metodologias aplicadas à avaliação e gestão do risco à saúde e aos ecossistemas brasileiros.

Nas atividades regulares as empresas produzem, manipulam, armazenam e transportam muitas substâncias tóxicas, decorrentes das especificidades das operações industriais, petrolíferas, químicas, petroquímicas, gasodutos, mineração, frigoríficas, entre outras. Por estas razões, em uma única indústria coexistem inúmeras fontes de riscos.

Segundo Lima (2009), um único enfoque ou procedimento geral não é recomendado em processo de avaliação de risco por substâncias nocivas. A autora defende que a aplicação dos métodos deve considerar especificação e avaliação da exposição e avaliação da dose e efeito como resposta à exposição, para ser teoricamente válida. Em USEPA (1989) é proposto que os métodos produzam, em geral, cálculos para exposição de risco, que expressem a realidade e que considerem as substâncias químicas, suas especificações e os possíveis efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente.

Outros autores, como Demidova e Cherp (2005), apontam que em geral, os resultados das análises de avaliação de riscos são utilizados para a execução de medidas de mitigação que têm o objetivo de prevenir ou reduzir os impactos associados aos projetos; assim como restaurar ou compensar o prejuízo causado para o meio ambiente e danos à saúde humana, consistindo o processo nas seguintes etapas: 1) identificar ações de medidas de mitigação apropriadas; 2) avaliar a sua eficácia, a viabilidade tecnológica e econômica e aceitabilidade do ponto de vista público em geral; e, 3) estimar o impacto residual após a implementação dessas medidas.

Baseado nessas premissas, este estudo objetivou identificar elementos comuns e diferenças das metodologias mais utilizadas de avaliação de risco à saúde e meio ambiente, e levantar as questões em aberto, presentes nestas.

## **METODOLOGIA**

Foram consultados, além de artigos científicos publicados em periódicos especializados, publicações da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), base de dados da BIREME (Centro Latinoamericano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde), da base de dados científicos da *SciVerse Science Direct/Elsevier*, base de dados do *Science Inventory*, da USEPA (*Environmental Protection Agency*), base de dados da ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*), base de dados da Agência Europeia para Segurança e Saúde no Trabalho, e biblioteca da OMS (Organização Mundial da Saúde).

As produções científicas foram coletadas durante o primeiro trimestre de 2013, utilizando-se palavras-chaves como metodologia de riscos, avaliação de risco, risco à saúde, risco ao meio ambiente, métodos para avaliação de riscos, *framework* de avaliação de risco, e riscos na segurança. Foi escolhido o período de publicações das produções científicas do ano de 2000 até 2013, num total de 197 trabalhos entre artigos, revisões, teses e dissertações.

As coletas das produções científicas foram realizadas dentro da temática da metodologia de avaliação de risco à saúde e ao meio ambiente, na abordagem mais ampla possível,

considerando os tópicos: 1) avaliação de risco à saúde 2) avaliação dos riscos ecológicos; e 3) análise de risco na segurança em processos e instalações.

Foi reportado, no trabalho de Tixer et al. (2002), que existem mais de 60 métodos para avaliação de risco à saúde e ao meio ambiente, os quais contemplam três principais etapas analíticas: a) fase de identificação – especificação das atividades perigosas, produtos e equipamentos; b) fase de avaliação da exposição e toxicidade, através da abordagem determinística e/ou probabilística; e c) fase da caracterização de risco, que hierarquiza as margens de riscos em grau de comprometimento e perigo à saúde ou ao meio ambiente.

Dentre os trabalhos consultados, foram considerados os que tinham similaridade com a abordagem da avaliação de risco e contemplavam as fases da caracterização do perigo, avaliação da exposição nos diversos compartimentos ambientais, avaliação da toxicidade e caracterização da margem de risco. Outro critério prioritário para selecionar as metodologias em foco neste trabalho foi o grau de aceitação desses métodos, medido pela citação em outros trabalhos, utilização e aplicação em estudos concretos publicados.

Em razão de algumas limitações apresentadas, uma parte dos trabalhos consultados foi desconsiderada neste estudo, em razão de não apresentarem caracterização da margem de risco ou da aplicação de suas etapas terem gerado apenas resultados parciais. As limitações apresentadas foram: a) metodologia muito generalista que pouco considerava a especificidade do caso estudado; b) metodologia muito específica e que não considerava outras situações para avaliação, como diversidade nos compartimentos ambientais ou grupos sensíveis na população envolvida; c) poucas especificações, conceituações e proposições sugeridas; d) pouca atualização dos dados registrados na base considerada; e) falta de guia ou procedimentos específicos para situações avaliativas; e f) falta de integração com outras metodologias de avaliação, tornando-se inflexível. Os trabalhos que não tinham relação como objeto ou objetivo da pesquisa, ou limitações nos métodos aplicados, foram descartados.

Entre as diversas metodologias adotadas mundialmente, foram escolhidas as mais utilizadas pelos especialistas e as mais citadas nas publicações mundiais. A Tabela 1 apresenta as metodologias de avaliação de risco que foram consideradas referenciais na revisão bibliográfica.

**Tabela 1:** Metodologias consideradas para revisão.

METODOLOGIAS CONSIDERADAS	REFERÊNCIA
Análise de Causas e Consequências	Nicolet-Monnier (1996)
Análise Histórica de Acidentes	Khan e Abbasi (1998a)
Ferramenta de Avaliação de Riscos	Oien et al. (1998)
Inspeção de Segurança	Chung e Yang (1998)
Lista de Verificação de Riscos	Khan e Abbasi (1998b)
Metodologia de Riscos e Operabilidade - HAZOP	Kennedy e Kirwan(1998); Rogers (2000)
Metodologia Análise Preliminar de Perigo - APP	CCPS (1989)
Metodologia Falhas Modelos e Efeitos – FEMEA	Vanderbrande (1998)
Metodologia Falhas em Árvores – FTA	Vesely et. al. (1981); IEC (1990)
Metodologia Falhas por Eventos – ETA	ETA (1985)
Metodologia da CETESB-SP	CETESB (2003)
Metodologia da USEPA	USEPA (1989)

Metodologia da ATSDR	ATSDR (2005)
Metodologia da União Europeia	UE-IHCP ( 2003)
Metodologia da OMS	OMS/IPCS (2010)
Método somente por Dose-Resposta	NCR (1983); USEPA (1989); OMS (2010)
Outras Metodologias	Troutt e Elsaid (1996); Dolladille (1999); Kennedy & Kirwan (1998); Toola (1992) Pitblado, Williams e Slater (1990)

Após a seleção das publicações, estas foram classificadas de acordo com a metodologia aplicada em cada trabalho. Do resultado desta classificação foi implementado um banco de dados com os seguintes atributos: título, ano de publicação, periódico de publicação, autores, país de origem, palavras-chaves, resumo do trabalho, métodos utilizados e abordagem avaliativa.

Foram selecionadas 103 produções, constantes da Tabela 2, ordenadas por metodologia e ano de publicação. As metodologias estão mostradas como USEPA, ATSDR, OMS, UE (União Europeia) e Outras, as quais são representadas pelos outros métodos menos aplicados nos trabalhos selecionados neste estudo.

**Tabela 2:** Trabalhos considerados na revisão integrativa.

Nº	BIBLIOGRAFIA	ANO	MÉTODO
1	ROBERT L. SIELKEN JR., et. al. Regulatory Toxicology and Pharmacology, volume 65, 2, 2013, p. 214-225.	2013	USEPA
2	BOLGER, MICHAEL, et. al. Regulatory Toxicology and Pharmacology, volume 66, Issue 2, July 2013, Pages 234-240.	2013	USEPA
3	MUSHAK, Science of the Total Environment 443, 2013: 643-649.	2013	USEPA
4	AMJAD, HIRA, et. al. Ecotoxicology and environmental safety, volume 91, 1 May 2013, Pages 25-31	2013	USEPA
5	RODRIGUES, SARAH K., et. al. Marine environmental research, XXX, 2013, 1 - 12.	2013	USEPA
6	HOUETO, PAUL, et. al. Regulatory Toxicology and Pharmacology 62.1, 2012: 41-48.	2012	USEPA
7	SIIRILA, ERICA R., AND REED M. MAXWELL. Science of the Total Environment 431, 2012: 221-232.	2012	USEPA
8	NIEMEYER, JÚLIA CARINA, et al. Applied Soil Ecology 59, 2012: 96-105.	2012	USEPA
9	XU, LINYU, AND XIN SHU. Procedia Environmental Sciences 13, 2012: 288-296.	2012	USEPA
10	XIE, JIANPING, et. al. Regulatory Toxicology and Pharmacology 62.2, 2012: 355-362.	2012	USEPA
11	YEGANEH, MOJGAN, et. al. Journal of hazardous materials, 2012. Volumes 244–245, 15, p. 225-239	2012	USEPA
12	COLMAN LERNER, J. E., et. al. Atmospheric Environment 55, 2012: 440-447.	2012	USEPA
13	CHEN, MING-JEN, et. al. Food and Chemical Toxicology, 2012, volume 50, Issue 10, 2012, Pages 3867-3876	2012	USEPA
14	PERRODIN, YVES, et. al. Science of the Total Environment 431, 2012: 375-384.	2012	USEPA
15	PERRODIN, YVES, et. al. Chemosphere, 2012, volume 90, Issue 3, p. 1037-1046	2012	USEPA
16	ARNOLD, SCOTT M., et al. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2012, volume 64, Issue 3, p. 504–515	2012	USEPA
17	DORNE, J. L. C. M., AND J. FINK-GREMMELS. Toxicology and Applied Pharmacology, volume 270, Issue 3, 1 August 2012, Pages 187-195	2012	USEPA
18	KUMAR, ARUN, AND IRENE XAGORARAKI. Regulatory toxicology and pharmacology 57.2, 2010: 146-156.	2010	USEPA
19	DOS SANTOS, FÁBIO NEVES, AND PEDRO AFONSO DE P. PEREIRA. Microchemical Journal 96.1, 2010: 139-145.	2010	USEPA
20	DURMUSOGLU, ERTAN, et. al. Journal of hazardous materials 176.1, 2010: 870-877.	2010	USEPA
21	SCHECKEL, KIRK G., and ROBERT G. FORD. Developments in Soil Science, 34, 2010, p. 147-169.	2010	USEPA
22	WILSON, BRENDA J., et al. Annals of internal medicine 151.12, 2009: 878-885.	2009	USEPA
23	MERTZ, LILIANE MARCIA, et. al. Ciência Rural 39.1, 2009: 13-18.	2009	USEPA
24	HUNG, MING-LUNG, et. al. Journal of hazardous materials 172.1, 2009: 316-323.	2009	USEPA
25	SILVA, ANA LICKS ALMEIDA, et. al. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro 14.6, 2009: 2153-2162.	2009	USEPA
26	DE LIMA, CRISTIANE ANDRADE. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009, UFRJ, Rio de Janeiro.	2009	USEPA
27	WIJNHOVEN, SUSAN WP, et al. Nanotoxicology, 3.2 (2009): 109-138.	2009	USEPA
28	BOXALL, ALISTAIR BA, et al. Environmental Health Perspectives 117.4, 2009: 508.	2009	USEPA
29	[88] STEINBERG, LAURA J., HATICE SENGUL, AND ANA MARIA CRUZ. Natural Hazards 46.2, 2008: 143-152.	2008	USEPA
30	CARLON, CLAUDIO, et al. Environment internacional 34.3, 2008: 397-411.	2008	USEPA
31	HAMIDIN, NASRUL, QIMING JIMMY YU, AND DES W. CONNELL. Water research 42.13, 2008: 3263-3274.	2008	USEPA
32	SCHOENY, RITA. Human & Ecological Risk Assessment. volume 13, (2007): 70-76.	2007	USEPA
33	PREUSS, PETER W., et. al. Human & Ecological Risk Assessment, volume 13,1; (2007): 41-45.	2007	USEPA
34	PAREKH, AMI A., and KERRY L. Human & Ecological Risk Assessment, volume 13, (2007): 96-100.	2007	USEPA
35	HENDERSON, ROGENE F., et al. Human & Ecological Risk Assessment, volume 13, 1, (2007): 39-39.	2007	USEPA
36	DERRY, CHRIS, ROGER ATTWATER, AND SANDY BOOTH. International journal of hygiene and	2006	USEPA

	environmental health 209.2, 2006: 159-171.		
37	REAL, JOSÉ LUIZ GERLACH. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.	2005	USEPA
38	DEMIDOVA, OLGA, AND ALEG CHERP. Environmental Impact Assessment Review 25.4, 2005: 411-429.	2005	USEPA
39	PERES, FREDERICO, et al. Caderno Saúde Pública 21.6, 2005: 1836-1844.	2005	USEPA
40	PERES, FREDERICO, et al. Ciência Saúde Coletiva 10.Supl, 2005.	2005	USEPA
41	CALDAS, E. D., et al. Food and chemical toxicology 42.11, 2004: 1877-1883.	2004	USEPA
42	JOHNSON, B. L. Human & Ecological Risk Assessment, volume 10, 1, (2004): 961-964.	2004	USEPA
43	MULLER, E., et al. Atmospheric Environment 37.15, 2003: 2015-2022.	2003	USEPA
44	HAYS, SEAN M., and LESA L. YLWARD. Regulatory Toxicology and Pharmacology 37.2 (2003): 202-217.	2003	USEPA
45	FILIZOLA, HELOISA FERREIRA, et al. Pesquisa Agropecuária Brasileira 37.5, 2002: 659-667.	2002	USEPA
46	WCISLO, ELEONORA, et al. Chemosphere 47.5, 2002: 507-515.	2002	USEPA
47	FUERTAW, EDWIN J. Toxicology and industrial health 17.5-10 (2001): 302-314.	2001	USEPA
48	STEINEMANN, ANNE. Environmental Impact Assessment Review 20.6, 2000: 627-645.	2000	USEPA
49	CALDAS, ELOÍSA DUTRA, AND L. C. K. R. SOUZA. Revista de Saúde Pública 34.5, 2000: 529-37.	2000	USEPA
50	WANG, CHEN-CHEN, et al. Journal of Hazardous Materials, volume 262, 15 November 2013, Pages 179-188	2013	ATSDR
51	C. ROUSSELLE, J.N. ORMSBY, et al. Regulatory Toxicology and Pharmacology, volume 65-1, 2013, p.7-11.	2013	ATSDR
52	JAMIN, PIERRE, et al. Journal of contaminant hydrology 127.1, 2012, p. 65-75.	2012	ATSDR
53	ELLIS, J. BRYAN, et al. Science of the Total Environment 416, 2012: 172-179.	2012	ATSDR
54	KORN, MARIA GRAÇAS A., et al. Microchemical Journal 96.1, 2010: 12-16.	2010	ATSDR
55	NIEMEYER, JÚLIA C., et al. Journal of Soils and Sediments 10.8, 2010: 1557-1571.	2010	ATSDR
56	MA, HWONG-WEN, et al. Environment international 33.2, 2007: 206-218.	2007	ATSDR
57	HARRISON, PAUL TC, et al. Issues in Environmental Science and Technology 22.22, 2006, p. 65-83.	2006	ATSDR
58	KOO, HYUN JUNG, et al. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 67.23-24, 2004, p. 1901-1914.	2004	ATSDR
59	XELEGATI, ROSICLERE. et al. Revista Latinoamericana de enfermagem, 11.3, 2003, p. 350-356.	2003	ATSDR
60	PATTERSON, JACQUELINE, et al. Toxicology 173.1, 2002: 123-143.	2002	ATSDR
61	SPENGLER, ROBERT F., et al. International journal of hygiene and environmental health 205.1, 2002, p. 77-83.	2002	ATSDR
62	FERON, V. J., and J. P. GROTEN. Food and chemical toxicology 40.6, 2002, p. 825-839.	2002	ATSDR
63	MAISTRO, LILIANE CORREA. Revista. Nutrição 14.3, 2001, p. 219-224.	2001	ATSDR
64	SANTOS, LUIS FERNANDES PEREIRA, et al. Food Control, volume 33, ed. 1, setembro 2013, p. 193-199	2013	OMS
65	POHJOLA, M. V., et al. Food and Chemical Toxicology 50.1, 2012: 40-55.	2012	OMS
66	RECKMANN, K., I. TRAUlsen, AND J. KRIETER. Journal of environmental management 107, 2012: 102-109.	2012	OMS
67	MARANO, KRISTIN M., et al. Regulatory Toxicology and Pharmacology, volume 64, Issue 2, novembro 2012, Pages 243-252	2012	OMS
68	GUILLÉN, D., et al. Science of the Total Environment, volume 440, 1 December 2012, Pages 236-252	2012	OMS
69	ROVIRA, JOAQUIM, et al. Archives of environmental contamination and toxicology 60.2, 2011: 372-384.	2011	OMS
70	TOPUZ, E., I. TALINLI, AND E. AYDIN. Environment international 37.2, 2011: 393-403.	2011	OMS
71	NAVARRO, MARCUS VINICIUS TEIXEIRA, et al. Ciência & Saúde Coletiva 2, 2010, p. 3477-3486.	2010	OMS
72	NETO, MARIA DE LOURDES FERNANDES, et al. Engenharia Sanitária Ambiental 14.1, 2009: 69-78.	2009	OMS
73	PENNINGS, E. J. M., et al. Regulatory Toxicology and Pharmacology 52.3, 2008: 199-207.	2008	OMS
74	SOLECKI, ROLAND, et al. Food and Chemical Toxicology 43.11 (2005): 1569-1593.	2005	OMS
75	VAN DEVENTER, T. E., et al. Progress in biophysics and molecular biology 87.2, 2005: 355-363	2005	OMS
76	SHARIFF AZMI MOHD, AND DZULKARNAIN ZAINI. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, volume 26, Issue 4, July 2013, p. 605-613.	2013	UE
77	WOLLENWEBER, JENS, et al. Energy Procedia 37, 2013: 4825-4832.	2013	UE
78	SWARTJES, F. A., et al. Science of the Total Environment 427, 2012: 1-10.	2012	UE
79	ASCHBERGER, KARIN, et al. Environment international 37.6, 2011: 1143-1156.	2011	UE
80	MUNOZ, IVAN, et al. Environmental Pollution 158.5, 2010: 1809-1816.	2010	UE
81	NIEUWENHUIJSEN, et al. Environment international 32.8, 2006: 996-1009.	2006	UE
82	FRYER, MICHAEL, ET AL. Environmental Science & Policy 9.3, 2006: 261-274.	2006	UE
83	OLSEN, STIG IRVING, ET AL. Environmental Impact Assessment Review 21.4, 2001: 385-404.	2001	UE
84	VIANCO, MARTA G. et al. Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 7, March 2006, Pages 1189-1198.	2006	CETESB
85	COELHO, SUANI TEIXEIRA, et al. Energy for Sustainable Development, volume 10, Issue 2, June 2006, Pages 26-39.	2006	CETESB
86	FREITAS, CLARICE UMBELINO DE, et al. Environmental Research, volume 103, Issue 3, 2007, p 338-344.	2006	CETESB
87	GÜNTHER, WANDA M. RISSO. São Paulo em Perspectiva 20.2, 2006: 105-117.	2006	CETESB
88	GIULIANO, ANTONIO DONIZETTI, ET AL. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud. México, 2002, p 1 - 7	2002	CETESB
89	BROLLO, MARIA JOSÉ. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21 4. ABES, 2001. p. 1-24.	2001	CETESB
90	PASMAN, HANS, AND GENSERIK RENIERS. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2013. p. 1-8.	2013	Outro
91	SIIRILA, ERICA R., et al. Advances in Water Resources 36, 2012: 146-164.	2012	Outro
92	MCKNIGHT, URSULA S., AND MICHAEL FINKEL. Environmental Modelling & Software, Volume 40, February 2013, Pages 35-50.	2012	Outro
93	AISSANI, LYNDA, et al. Process Safety and Environmental Protection 90.4, 2012: 295-303.	2012	Outro
94	PIZZOL, MASSIMO, et al. Journal of Cleaner Production 19.6, 2011: 646-656.	2011	Outro
95	KOIVISTO, RAJJA, et al. Technological Forecasting and Social Change 76.9, 2009: 1163-1176.	2009	Outro
96	KOMLJENOVIC, et al. Safety Science 46.5, 2008: 792-801.	2008	Outro
97	JESUS, KATIA REGINA EVARISTO DE, et al. Applied Biosafety 11.3, 2006: 127.	2006	Outro

98	SIMÕES FILHO, SALVADOR. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.	2006	Outro
99	MENDES, PATRICIA B. M. TEIXEIRA. Dissertação, Universidade de São Paulo. Depart. de Saúde Ambiental, 2006.	2006	Outro
100	PESSOA, MARIA CONCEIÇÃO PERES YOUNG, et. al. Pesticidas 13, 2003: 111-122.	2003	Outro
101	VOLNEY DE MAGALHÃES CÂMARA. Revista Brasileira de Epidemiologia 6.2, 2003.	2003	Outro
102	TIXIER, JEROME, et. al. Journal of Loss Prevention in the process industries 15.4, 2002: 291-303.	2002	Outro
103	BRAUTBAR, NACHMAN et. al. International journal of hygiene and environmental health 205.6 (2002): 479-491.	2002	Outro

Da classificação dos artigos selecionados, 54 produções, ou 52,4%, foram publicadas entre os anos de 2009 e 2013 (até o primeiro trimestre). Acredita-se que essa situação seja ocasionada em razão da possível aplicação das tecnologias recentes disponíveis para o processo produtivo e métodos avaliativos de risco. Seguida de 20 produções, ou 19,4%, entre 2006 e 2008, 14,6% entre 2003 e 2005, e 13,6% entre 2000 e 2002.

A Figura 1 mostra esses valores absolutos das publicações selecionadas por ano de publicação.

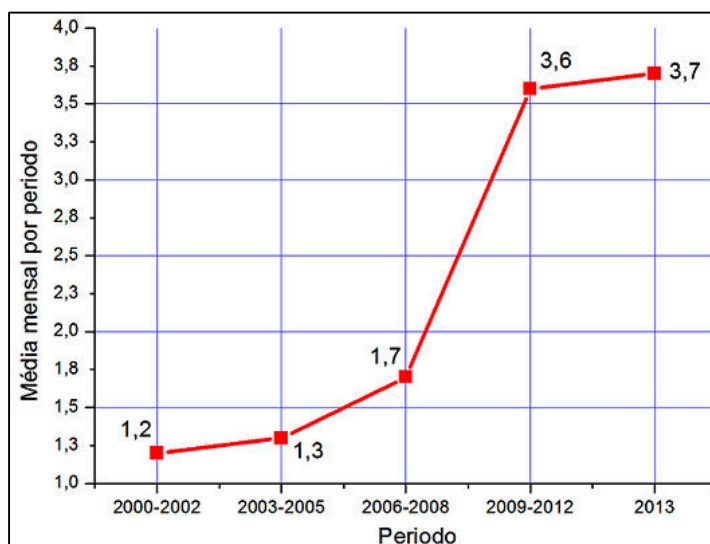
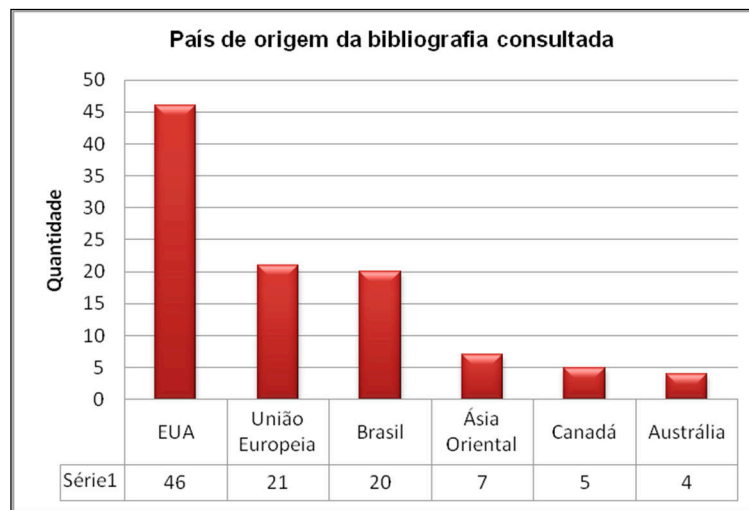


Figura 1: Média mensal de publicações por período.

Diante disso, e face o grande volume de trabalhos selecionados, foi realizada uma categorização conforme local ou País de publicação para conhecimento da origem das metodologias. Com isso, pôde-se elaborar uma tabela que serviu para análise da importância do tema na comunidade científica e do grau de interesse que os especialistas, governos e indústria têm na utilização de determinadas metodologias.

A Figura 2 mostra a distribuição dos artigos, revisões, teses e dissertações por País de origem de produção e publicação. Os Estados Unidos da América (EUA), em destaque, somam a quantidade de 46 trabalhos coletados com 44,7%, seguidos por países da União Européia, com 21 trabalhos e 20,4%. No Brasil, foram encontradas 20 produções publicadas, com a temática principal deste trabalho na proporção de 19,4% do total. A busca sobre a literatura no Brasil foi intensificada, apoiando-se também em teses e dissertações da área, chegando-se, por estas razões, à quantidade significativa de trabalhos comparando-se com outros Países. Essa situação

foi justificada pelos objetivos deste trabalho que se vinculam à indicação de uma metodologia adequada às condições brasileiras.



**Figura 2:** Trabalhos consultados por País de origem.

Em Brilhante e Caldas (2002), é citado que o rápido desenvolvimento tecnológico e industrial dos EUA fez surgir inúmeras situações de riscos em vários sítios contaminados, com forte ligação entre os produtos químicos e o surgimento de determinadas doenças, a exemplo do câncer.

Esses acontecimentos levaram o poder público a procurar medidas para gestão e mitigação dos riscos, e a comunidade científica foi estimulada a realizar pesquisas nessa área, incluindo a definição de metodologias apropriadas para o conhecimento e análise dos riscos à saúde e ao meio ambiente.

No Brasil, após a década de 1990, o governo e os especialistas têm realizado esforços para o conhecimento, estudos e pesquisas sobre avaliação de riscos, embora ainda não sejam suficientes o bastante para a sua boa gestão. Esta situação contribuiu para números significativos de trabalhos publicados que foram ilustrados anteriormente.

### **Aspectos Gerais das Metodologias de Avaliação de Risco**

Dos artigos selecionados, foi realizada uma categorização por modalidade do método, onde foram indicadas as seguintes linhas: qualitativo, quantitativo e quali-quantitativo, com abordagens determinísticas e probabilísticas, de acordo com Tixer et al. (2002).

Segundo CETESB (2003), o método quantitativo é habitualmente empregado em análises de riscos com estimativa de frequências e consequências do perigo, aplicação de modelos matemáticos passíveis de validações, informações da avaliação dose-resposta e investigações epidemiológicas.

O método qualitativo emprega tópicos elaborados com observações e classificações contextualizadas segundo níveis comparativos em avaliação de risco, considerando as fases



influentes do estudo, tais como avaliação da exposição dos poluentes e suas toxicidades, e os resultados dos modelos matemáticos.

Um exemplo desse tipo de método que caracteriza níveis conceituais de risco é o CatReg – *Categorical Regression*, cujo método inclui a regressão categórica ordinal e resulta na margem conceitual de risco que está especificado em USEPA (2006). Nesse método, deve-se indicar conceitualmente a hierarquização das margens de risco onde os mais altos níveis incluem elevadas exposições a produtos tóxicos e alta toxicidade provocando efeitos adversos à saúde até a situação letal. E, nos níveis mais baixos de risco, numa situação de menor grau de exposição e baixa toxicidade, indicam moderados efeitos adversos à saúde, podendo-se até permitir remediação, segundo Brilhante e Caldas (2002).

A Conjunção dos métodos duplos quali-quantitativo aplica as duas abordagens numa situação analítica e avaliativa mais completa. Como aponta Tixer et al. (2002), o método determinístico considera a quantificação de produtos nocivos, equipamentos e instalações, com análises em grau e níveis de riscos. Por sua vez, o método probabilístico relata níveis de falhas, cenários e probabilidade de ocorrências e consequências de perigos e riscos.

Em geral, o método determinístico é aplicado a um cenário específico, com duração precisa da exposição de determinado poluente e conhecimento definido da população ou grupos sensíveis envolvidos, assim como os males provocados.

Já o método probabilístico tem característica estocástica com alguns parâmetros pré-definidos de cenários, tais como exposição nos compartimentos do solo, subsolo, águas subterrâneas, climas pouco sazonais e de muita pluviosidade. Nestes cenários geralmente são consideradas múltiplas substâncias contaminantes, população envolvida oscilante e longa duração de exposição. Estas condições de contorno obrigam, em muitos casos, a estimação de parâmetros, com conseqüente avaliação de predição e tendência. Geralmente esta situação acontece nas avaliações de risco nas atividades de mineração, exploração petrolífera e metalurgia.

A Figura 3 ilustra a classificação dos métodos citados nos trabalhos selecionados, com abordagens determinísticas e probabilísticas. Desses trabalhos, 52 correspondem a abordagem quantitativa; em segundo aparece a aplicação da abordagem quali-quantitativa, com 36 trabalhos; e a abordagem qualitativa com 15.

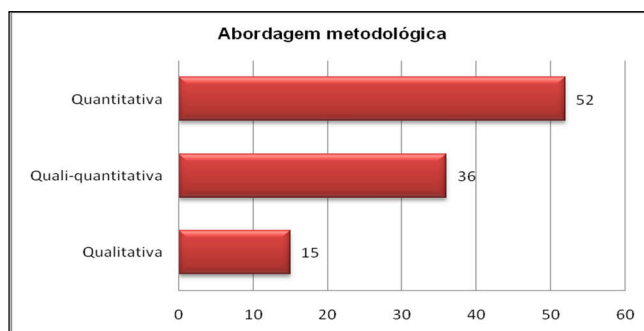
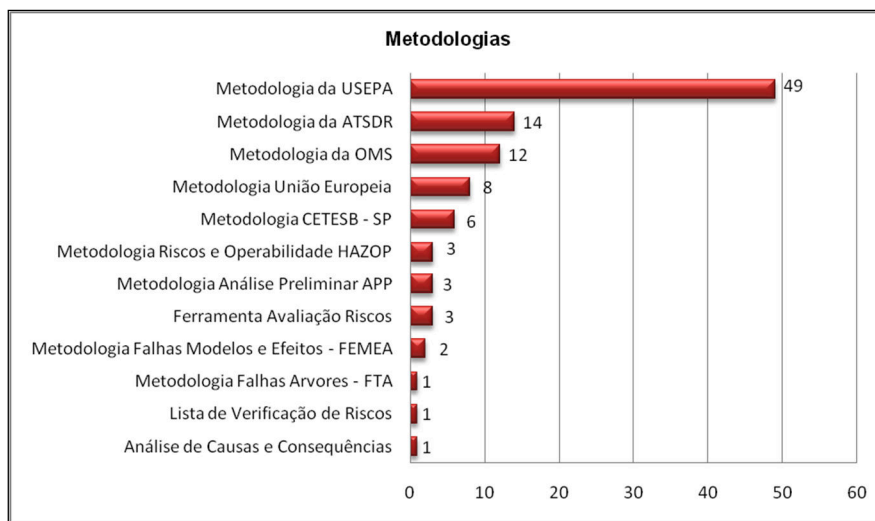


Figura 3: Aplicação de abordagem de métodos.

Das produções científicas analisadas, segundo ilustra a Figura 4, a metodologia definida pela USEPA, em USEPA (1989), foi citada e aplicada por 49 trabalhos, correspondendo a 47,5% do total pesquisado, seguido pela metodologia da ATSDR, em ATSDR (2005), com 14 trabalhos correspondendo a 13,6%, e a terceira metodologia mais citada foi da OMS, em OMS (2010), com 12 trabalhos, na proporção de 11,7% das produções verificadas. A metodologia da União Européia vem aumentando a quantidade de citação em trabalhos científicos desde a publicação de sua metodologia após 2003, pela importância na área de abrangência e também pela sua exigência governamental (UE-IHCP, 2003).

Nas publicações encontradas verificamos que as outras metodologias foram aplicadas em uma escala menor de casos reportados.



**Figura 4:** Metodologia por citação e aplicação nas produções.

Nas três metodologias mais aplicadas, da USEPA, ATSDR e OMS, existe um processo padrão que descreve três fases principais para uma avaliação de riscos: escopo, formulação do problema e planejamento; análise e avaliação da exposição e da toxicidade; e caracterização do risco. A modelação matemática é utilizada para a avaliação da exposição de contaminantes, a avaliação da toxicidade, e a caracterização das margens de risco. Esse roteiro foi desenvolvido em NRC (1983) é conhecido como paradigma da avaliação de risco, e tem norteado até hoje as principais metodologias para avaliação do risco à saúde e ao meio ambiente.

Na primeira fase, uma equipe de avaliadores especifica cenários, produtos, vias de exposição e população envolvida, estabelece as metas, amplitude, profundidade e foco da avaliação. Os resultados dessa fase servem para caracterizar a avaliação da exposição de acordo com modelos conceituais e um plano de avaliação de risco.

A fase da avaliação da exposição inclui o desenvolvimento de perfis de exposição, os compartimentos ambientais, as vias de exposições e as formas de ingestão, contatos dérmicos e inalação, considerando as interações entre os produtos tóxicos, as populações afetadas e o cenário ambiental, fauna e flora. É nessa fase que se espera serem resolvidas questões técnicas,

tais como a toxicidade de produtos, vulnerabilidade das populações e interações entre as substâncias químicas diante das propriedades físicas do meio.

A última fase constitui a caracterização dos riscos, que busca a indicação de uma margem de risco, as especificações de risco em termos da sua importância e a confiabilidade das estimativas. É também nesta etapa que é realizada uma avaliação e verificação do processo avaliativo, conferindo se este cumpriu os objetivos e metas definidos na primeira fase.

Além destes aspectos comuns, apontados anteriormente, que as metodologias USEPA, ATSDR e OMS apresentam, é importante destacar também suas diferenças. A ênfase para aplicação dessas metodologias difere conforme a situação de risco. A ATSDR e OMS focam claramente seus esforços em ações voltadas especificamente para a saúde pública e ameaças à saúde humana. A OMS tem métodos para avaliação dos riscos nos ecossistemas, porém com moderada caracterização aos riscos inerentes e de muita complexidade de aplicação, conforme citado em OTA (1995). Por outro lado, a USEPA preocupa-se fundamentalmente em considerar tanto as atuais quanto as futuras ameaças à saúde e, sobretudo, aos impactos prejudiciais ao meio ambiente.

A metodologia da USEPA foi a mais utilizada nos trabalhos analisados para este artigo. Esta metodologia envolve atividades que se enquadram em aspectos amplos de avaliação de risco tanto para saúde humana quanto aos ecossistemas.

A política e os programas que norteiam o conjunto de técnicas que compõem essa metodologia têm origem no Fórum de Avaliação de Risco, que é uma comissão permanente formada por cientistas para discussão e deliberação sobre questões e procedimentos de avaliação. A principal abordagem dessa metodologia segue o conhecido paradigma de avaliação do risco, descrito em NRC (1983).

O conjunto de métodos da USEPA apresenta guias de práticas, procedimentos, modelos conceituais e *framework's* para uma ampla variedade de avaliações. São avaliações para recursos hídricos, solos nas várias camadas, ar atmosférico, diversidades de produtos químicos e suas interações, avaliação específica para exposição com metais, avaliação por microorganismos, avaliação por grupos e populações sensíveis, como também avaliações por situações adversas à saúde humana e aos impactos ambientais.

Dentre os métodos abordados pela USEPA para calcular a avaliação da exposição e caracterizar risco, utiliza-se o método da toxicologia Noael/Loael, NRC (1983), dose referência USEPA (1998), o método probabilístico BMD – *Benchmark Dose*, USEPA (2000), e o método CatReg – *Categorical Regression*, USEPA (2006).

A USEPA mantém diversos bancos de dados, a exemplo do IRIS – *Integrated Risk Information System*, com caracterização dos produtos químicos e seus compostos e informações sobre dose referência, nível de Noael/Loael e BMD, sintomatologia na saúde humana e estudos de bioensaios com animais.

Porém, apesar desses recursos, seus objetivos e utilização de parâmetros estão direcionados às especificidades do território norte americano, o que presume a necessidade de ajustes para emprego em outras regiões e países.

A metodologia da ATSDR contempla um conjunto de procedimentos e informações com caracterização para efeitos de doenças e prevenção à saúde, com indicativos para análises e avaliações de riscos à saúde coletiva. Os seus objetivos são: avaliar riscos para a saúde humana em sítios contaminados com produtos tóxicos, e recomendar ações mitigadoras em prol da saúde pública; verificar a correlação entre a exposição de substâncias tóxicas e doenças; desenvolver e disponibilizar informações confiáveis e compreensíveis para as comunidades afetadas e outros interessados.

A avaliação utilizada pela metodologia da ATSDR busca identificar possíveis riscos nocivos e indicar as ações necessárias para proteger a saúde pública, sobretudo. Declinando, parcialmente, dos estudos para os riscos ambientais em razão dos seus objetivos institucionais.

Para esse fim, ATSDR considera os mesmos dados e informações da etapa inicial para avaliação de riscos, comparando-se com a metodologia da USEPA, mas concentra-se nas condições de exposição em determinados locais particulares e de interesses específicos para saúde dos grupos sensíveis afetados e da comunidade avaliada, além de dados disponíveis sobre epidemiologia para aplicar em sua avaliação. Considera também, situações e exposições precedentes de produtos nocivos, além de potenciais riscos futuros (ATSDR, 2005).

Os modelos conceituais nas duas metodologias (USEPA e ATSDR) são semelhantes (por exemplo: a coleta de dados, avaliação da exposição e a avaliação toxicológica), sempre com ênfase na avaliação para saúde pública, onde fornece perspectiva adicional integrando as condições específicas do local de exposição com os dados dos efeitos na saúde e problemas de saúde específicos da comunidade. A metodologia de avaliação da ATSDR também promove divulgação dos dados sobre os resultados da saúde quando confiáveis, para identificar as taxas de doença ou morte e se estão elevadas para determinada comunidade, especialmente se a população manifesta preocupação com algum resultado específico (por exemplo, o câncer).

O processo de avaliação de risco utilizado na metodologia da OMS começa com a formulação do problema e exige especificação detalhada da caracterização do perigo à saúde. A avaliação de risco à saúde segue o método conceitual de análise de acordo com o paradigma tradicional da NRC (1983) e faz orientação através dos vários parâmetros num roteiro de aplicação específico.

O método da OMS contém procedimentos pouco detalhados sobre parâmetros para o processo de avaliação de risco ambiental e mais detalhados para avaliação do risco à saúde humana. Indica vários modelos matemáticos para avaliação da exposição, por compartimentos, vias de exposição e populações afetadas, principalmente para grupos ocupacionais. Apresenta ferramentas adequadas para a caracterização da margem de risco, sem indicar meios para interpretações, aplicando uma abordagem mais quantitativa. O roteiro da metodologia pelo

método da OMS respeita quatro etapas da avaliação de riscos: identificação e caracterização do perigo, a avaliação da exposição, a avaliação dos efeitos sobre dose-resposta e a caracterização da margem de risco.

A terminologia empregada pelo método da OMS está em conformidade com as definições e práticas estabelecidas pelo IPCS - *International Programme on Chemical Safety*, IPCS (2013), e em numerosas outras publicações. Ao longo deste documento, é frequente a indicação de valores de determinadas grandezas como referência toxicológica, a exemplo de valores de referência para ingestão diária aceitável e a ingestão diária tolerável, que servem como parâmetros para aplicação da metodologia, conforme OMS (2010).

A OMS considera dados e informações originados das seguintes entidades e bases de dados: *International Chemical Safety Cards*; *Screening Information Datasets for High Production Volume*; *Chemicals WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard*; *UN Recommendations for the Transport of Dangerous Goods*; *IARC monographs*; *Hazardous Substances Data Bank*; *European Chemical Substances Information System*; *EU Classification and Labelling System International Chemical Control Toolkit*.

Observa-se ainda algumas diferenças nas informações de substâncias químicas constantes das principais bases de dados toxicológicos, entre a OMS e a USEPA. A OMS utiliza a base do INCHEM - *Chemical Safety Information from Intragovernmental Organizations*, mantida pelo IPCS, e a USEPA utiliza o banco de dados IRIS. Ambos com dados sobre contaminantes e seus efeitos deletérios, doses referências para ingestão e concentração, pesquisas sobre carcinógenos e cancerígenos, entre outras. Essas diferenças podem levar a interpretações divergentes para situações similares.

Outras diferenças dizem respeito à aplicação de procedimentos, principalmente quanto à avaliação do meio ambiente e seus parâmetros para cálculo da margem de risco, a exemplo da PEC - *Predicted Environmental Concentration* e PNEC - *Predicted no Effect Concentration*, na metodologia da OMS, que possibilita estimar caracterização de risco tornando-o demasiadamente probabilístico. Os critérios da USEPA são baseados em parâmetros mais determinísticos e aplicados com mais rigor.

## RESULTADOS

Segundo Brilhante e Caldas (2002), os problemas relativos aos contaminantes ambientais e à preservação dos ecossistemas estão associados e se refletem, sobretudo, na saúde humana. Estes autores Esses citam ainda que o processo de avaliação de risco ambiental é um instrumento metodológico influente para a execução de uma política de saúde coletiva.

Pelas características da interação entre homem e ambiente, pode-se observar que há uma agregação natural entre a avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Esta situação ficou evidente, diante da expressiva quantidade de aplicação das metodologias da

USEPA e OMS observadas neste estudo. Pois a inter-relação entre a saúde humana e o meio ambiente obriga a uma análise adequada da questão de risco e que esta seja realizada de forma integrada.

Em razão da predominante aplicação dessas três metodologias, foi elaborada uma tabela comparativa com os principais procedimentos e fatores que compõem os roteiros e etapas necessárias para o processo de avaliação. Considerou-se também a metodologia aplicada em CETESB (2003) por ser adaptável à realidade brasileira, muito embora sabendo-se que tal método inicialmente considerou somente acidentes industriais ocorridos na década de 1980, especialmente no segmento da indústria petroquímica.

A Tabela 3 mostra indicações de etapas e procedimentos para avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente que foram encontrados na análise dos procedimentos metodológicos aplicados, no conjunto total de artigos revisados.

O princípio norteador para organização dos procedimentos indicados na Tabela 3 foi o paradigma de avaliação de risco proposta por NRC (1983), que referencia a caracterização do perigo, avaliação da exposição, avaliação dose-resposta e caracterização do risco como etapas básicas para avaliação e o conhecimento de riscos. Outros procedimentos foram adaptados das metodologias menos citadas, mas foram considerados importantes para o conhecimento da margem de risco, mitigação das ações e gestão dos riscos.

Foram considerados três grandes grupos de fatores importantes para o processo de avaliação, qualificados como: a) identificação e especificação de riscos; b) modelos de avaliação, avaliação da exposição e toxicidade; e c) planejamento e gestão de riscos. Em cada fator foram identificadas etapas importantes para a realização da avaliação e caracterização do risco.

Na Tabela 3, todos os procedimentos em cada metodologia (USEPA, ATSDR e OMS) foram comparados e registrados com a grafia de um “ponto preto”, na respectiva linha quando o procedimento forma parte da metodologia e, deixado sem notação quando não está incluído, caracterizando um registro binário de dados (1-presença; 0-ausência). Cada procedimento foi adotado como amostra  $n$  e cada metodologia como grupo pertencente a  $m$  colunas, formando uma matriz de dados  $D$  composta por  $n \times m$  elementos. Cada procedimento atendido foi registrado por  $1$  que representa um objeto no espaço  $n$ -dimensional, podendo ser agrupado com outros que sejam próximos e assemelhados a ele (NETO e MOITA, 1998).

Desta forma, as similaridades ou dissimilaridades entre as amostras foram caracterizadas como função da distância entre dois pontos no espaço  $n$ -dimensional, calculada através da distância euclidiana com abordagem de vizinhos mais próximos, utilizando o método de classificação hierárquica aplicado com uso do pacote estatístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences, versão 18.0*).

Os gráficos do tipo dendrograma foram gerados e mostrados na Figura 5 e ilustram os resultados dos procedimentos adotados. O dendrograma A corresponde aos agrupamentos dos

procedimentos metodológicos e o dendrograma B corresponde aos agrupamentos por metodologia, identificados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Comparativo de fatores de avaliação.

Ordem	Etapas/Procedimentos	Descrição	USEPA	ATSDR	OMS
<b>A</b>					
<b>IDENTIFICAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE RISCOS</b>					
01	Identificação do perigo	Técnicas de identificação de perigo; Análise preliminar de perigos; Identificação da população afetada.	•	•	•
02	Especificação do risco	Especificação dos riscos, tipos de riscos, características de riscos.	•	•	•
03	Inventariar produtos perigosos para cada cenário	Levantamento, contagem, descrição e quantificação de produtos perigosos em cada cenário reconhecido.	•	•	•
04	Classificar os poluentes de acordo com o inventário e normas vigentes	Classificação das substâncias, suas especificações e possíveis efeitos em conformidade com o inventário realizado.	•		•
05	Identificação das falhas potenciais	Especificação das falhas possíveis de acontecimento para prévio conhecimento das ações adotadas.	•		
06	Informações de segurança de processo	Registro de documentos atualizados visando garantir adequada avaliação de riscos sobre substâncias químicas, tecnologia, equipamentos e processos.			
<b>B</b>					
<b>MODELOS DE AVALIAÇÃO, AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E TOXICIDADE</b>					
07	Dividir o sítio em unidades funcionais	Conhecimento da geografia das instalações e a divisão em territórios conforme exposição e concentração de produtos.	•		
08	Avaliação da dose-resposta	Utilização de testes laboratoriais, em animais, visando conhecimento das concentrações toleráveis à exposição de produtos nocivos e sua extrapolação para humanos.	•	•	•
09	Avaliação da exposição de produtos nocivos	Determinação de modelos e suas aplicações para conhecimento da concentração de agentes pela exposição a produtos nocivos.	•	•	•
10	Estimativa de efeitos à população, biota e avaliação de vulnerabilidade	Consideração de condições atmosféricas; condições topográficas; solos, hídricos, tempo e periodicidade de exposição; Cálculo da exposição por compartimentos e vias de absorção.	•		
11	Estimativa de avaliação de riscos à interação humana	Riscos sociais; risco individual; riscos econômicos.	•	•	
12	Estimativa de frequência de eventos	Probabilidade de acontecimento de perigo e riscos.	•	•	
13	Estimativa de riscos toleráveis	Descrição qualitativa da estimativa dos riscos e consequências toleráveis à saúde.	•	•	•
14	Cálculo da emissão de substâncias na ocorrência de falhas	Modelo matemático para estimação de emissão de produtos nocivos após acontecimento de falhas em processos.	•		
15	Avaliação do impacto e dos efeitos adversos na saúde das pessoas e no meio ambiente	Estimação do resultado da exposição à produtos químicos, considerando avaliação dose-respostas, por período de tempo.	•	•	•
16	Interação entre os sítios contaminados por compartimento ambiental	Interação das unidades de riscos por compartimento de ar, solo e água, visando investigação e o conhecimento de casos cumulativos de contaminantes.	•		
17	Pesquisar casos de possível disposição química	Investigação de casos de falhas e possíveis ações geradoras de disposição de produto químico ao meio.	•		
18	Agrupar os casos de emissões semelhantes	Agrupamento e associação de situações de emissões perigosas, visando melhor gerenciamento.	•	•	
19	Calcular taxas das emissões por cenários específicos	Modelo matemático para cálculo das emissões de contaminantes por cenário envolvido.	•		•
20	Agrupar as emissões por taxas	Agrupamento e associação das emissões por taxas toleráveis ou não à saúde.	•	•	•
21	Previsão segundo modelos de incerteza; calcular as consequências; apresentar os resultados	Probabilidade das consequências e previsão de resultados de riscos; utilização de métodos Monte Carlo ou QSAR, para predição de exposição quando não houver parâmetros definidos.	•	•	
22	Elaborar mapa dos efeitos versus distâncias	Mapeamento e <i>lay-out</i> das distâncias das situações de riscos e seus efeitos por área geográfica.	•		
23	Estimar as frequências dos eventos	Estimativa das frequências dos eventos por tempo e situações de riscos.	•	•	
24	Interpretar os resultados por situações e cenários	Interpretação e análise de resultados para contribuição ao processo de avaliação de riscos.	•		
25	Crítérios para validação de modelos	Validação dos modelos através de critérios reconhecidos e métodos aplicáveis.	•	•	•
26	Modelo matemático para extrapolação de resultados.	Avaliação e cálculo para extrapolação de resultados da avaliação dose-resposta, de bioensaios com animais para humanos.	•	•	•
<b>C</b>					
<b>PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RISCOS</b>					
27	Revisão dos riscos de processos	Análise e verificação da implementação do projeto, desde a fase inicial de instalações e processos até as atividades operacionais.			
28	Gerenciamento de modificações	Implementação de sistema gerencial para adequações às modificações de processos para garantir segurança à saúde humana e ao meio ambiente.	•	•	•
29	Manutenção e garantia de integridade de sistemas	Provisionamento de garantia e segurança sobre processamento, armazenamento, transporte de substâncias químicas.			
30	Procedimentos operacionais e de supervisão	Instruções precisas que propiciem descrição das etapas dos processos para supervisão e operações.	•	•	•

31	Capacitação dos recursos humanos	Treinamento de sistemas, processos e tecnologias para garantir formação necessária aos agentes.	•	•	•
32	Investigação de acidentes	Prover diretrizes e critérios para pesquisas sobre a natureza do incidente, causas básicas e interpretação de cenários de riscos.	•	•	•
33	Plano de ação de emergência	Guia de procedimentos simples para aplicação rápida de ações em emergência de perigos.		•	
34	Plano para mitigações a situações de risco	Guia completo para reparações e mitigações em situações de riscos.	•	•	
35	Revisões e reavaliação da execução de planos e projetos	Possibilidade de replanejamento das ações executadas caso estejam fora dos objetivos iniciais.			
36	Auditorias de processos	Verificação da conformidade e efetividade dos procedimentos previstos e adotados.		•	

Analisando-se as ocorrências mais significativas no dendrograma A, observa-se maior similaridade de aplicação dos procedimentos nas metodologias USEPA, OMS e ATSDR nos procedimentos 31, 32, 1, 28, 25, 26, 15, 20, 9, 13, 3, 8 e 2, respeitando a ordem deste gráfico. Desses casos de procedimentos, sete correspondem à etapa de modelos de avaliação da exposição e toxicidade, indicando determinada uniformização nessa etapa entre as metodologias.

Os procedimentos 23, 34, 11, 18, 21, e 12 são similares nas aplicações das metodologias USEPA e ATSDR e também correspondem à etapa B de modelagem da avaliação da exposição e toxicidade, com exceção do caso 34 que corresponde ao plano para mitigações e situações de risco.

Os procedimentos 22, 24, 5, 16, 17, 10, 14 e 7 são únicos de aplicação da metodologia da USEPA que se referem à etapa da exposição da avaliação e avaliação da toxicidade. Ou seja, esses procedimentos não foram observados ou foram observados parcialmente nas aplicações das outras metodologias. Sete deles referem-se à etapa B – modelos de avaliação, avaliação da exposição e toxicidade, o que significa maior aprofundamento nas investigações científicas pela metodologia da USEPA quanto à exposição de contaminantes e avaliação da toxicidade nos organismos envolvidos. Observa-se que esses pontos são únicos de aplicação da USEPA e mantêm similaridade entre si e com a etapa A, de identificação e especificação de riscos, pois se referem ao conhecimento do sítio contaminado, produtos nocivos e população envolvida, os quais são usados como parâmetros para a avaliação da exposição, integrando essas etapas e procedimentos. A falta de generalização desses procedimentos induz à precariedade quanto à caracterização do risco, que muitas vezes é mais quantitativa do que qualitativa, e por isso pode não despertar a atenção da população envolvida.

Os procedimentos 29, 35, 6 e 27, das etapas A e C, mostraram similaridade na falta de aplicação destes em todas as metodologias estudadas. O que caracteriza uma possível precariedade na revisão e manutenção dos procedimentos adotados na etapa de planejamento e gestão de riscos em geral. Essa situação implica em problemas de continuidade na mesma avaliação, a médio e longo prazo, principalmente nos casos de sítios contaminados, a exemplo da drenagem ácida de minas, disposição de derivados de petróleo em estuários, decomissionamento em metalúrgicas e outras. Assim, neste ponto, nos deparamos com questões relevantes em aberto, que merecem uma atenção especial nas pesquisas futuras de avaliação de risco.

Os procedimentos 4 e 19 foram únicos para USEPA e OMS. A falta dessas práticas próprias da metodologia ATSDR induz precariedade quanto ao inventário dos poluentes e

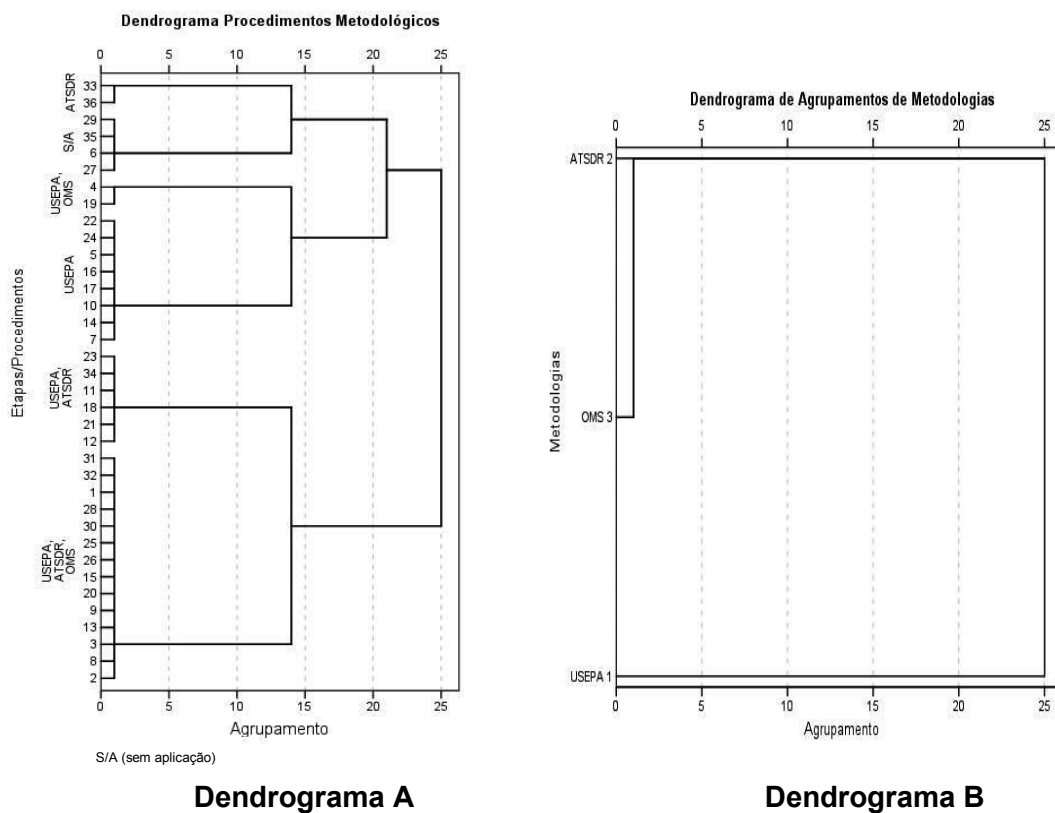


emissões por sítios envolvidos. Possivelmente a razão disso seja motivada pelos seus objetivos institucionais vinculados a registros de doenças e efeitos à saúde.

No dendrograma B, pode-se observar a presença de dois clusters mostrando a similaridade entre as metodologias da ATSDR e OMS e o distanciamento com a metodologia da USEPA, devido à maior distância euclidiana. Portanto, a proximidade entre as metodologias da ATSDR e OMS é visível no gráfico mencionado e está demonstrada pelo coeficiente de correlação significativa de 0,484, com 1% de probabilidade de erro, na Tabela 4. Acredita-se que isso ocorre em razão da objetividade institucional que cada metodologia representa.

Com o objetivo de conhecer a existência de correlações significativas entre as variáveis correspondentes da aplicação das metodologias de avaliação de risco estudadas, aplicou-se o teste de correlação bivariada, baseado no coeficiente de correlação de intervalos de Spearman, descrito em Pestana e Gageiro (2000), onde foram utilizados os postos de dados amostrais combinados de dois a dois (X,Y). Os níveis de significância foram estabelecidos em 0,01 e 0,05 em uma prova bilateral. Os resultados são mostrados na Tabela 4.

Em conformidade com esses resultados, não foram encontradas correlações extremas ou próximas a 1,0 entre as variáveis analisadas, mas podem-se considerar significativas mesmo com correlações moderadas.



**Figura 5:** Dendrogramas de agrupamento hierárquico dos procedimentos aplicados por metodologia.

**Tabela 4:** Correlações bivariadas através da técnica de Spearman.

Correlações						
			USEPA	ATSDR	OMS	
Spearman's rho	USEPA	Coeficiente de Correlação	1,000	,255	,400*	
		Sig. (p-valor)	.	,134	,016	
		N	36	36	36	
	ATSDR	Coeficiente de Correlação	,255	1,000	,484**	
		Sig. (p-valor)	,134	.	,003	
		N	36	36	36	
	OMS	Coeficiente de Correlação	,400*	,484**	1,000	
		Sig. (p-valor)	,016	,003	.	
		N	36	36	36	
	*. Correlação é significativa ao nível de 0.05 (p-valor).					
	**. Correlação é significativa ao nível de 0.01 (p-valor).					

Este trabalho não pretende esgotar o assunto nem encerrar a questão com uma padronização metodológica. Objetiva-se indicar caminhos para estudos posteriores numa possível agregação de metodologias mais adequadas às diversas comunidades e ecossistemas. Portanto, todos os procedimentos/etapas indicados na Tabela 3, mesmo não sendo citados em alguma metodologia, fazem parte desse contexto geral elencados na presente proposta de análise integrativa de metodologias de avaliação de risco.

## CONCLUSÕES

Alguns autores têm expressado que as avaliações de riscos à saúde e ao meio ambiente tendem a ser excessivamente quantitativas e resumidas, e que elas ignoram as diferenças qualitativas. Mesmo com o conhecimento de mais de 60 métodos existentes, ainda não há uma definição padrão sobre qual metodologia é mais adequada para avaliação de riscos em determinadas situações ou de forma geral.

A análise comparativa realizada, com foco na avaliação de riscos à saúde e meio ambiente, permite encontrar as áreas melhor cobertas por cada metodologia estudada, e sugerir a metodologia complementar necessária para ser aplicada em cada caso. Observou-se que, dentre as metodologias da USEPA, ATSDR e OMS, a metodologia da USEPA é a mais citada e aplicada na prática por apresentar condições integrais ao processo de avaliação de risco, apresentando procedimentos próprios para o juízo científico tanto na avaliação da exposição quanto na avaliação dose-resposta. As metodologias da ATSDR e OMS estão mais próximas quanto à aplicação dos procedimentos, possivelmente em razão dos objetivos institucionais relacionados ao bem-estar coletivo e à saúde humana.

Nas metodologias mais utilizadas (USEPA, ATSDR e OMS), foi detectada a ausência de aspectos relevantes, relacionados com a revisão e manutenção dos procedimentos adotados, na etapa de planejamento e gestão de riscos. Esta situação compromete a continuidade na avaliação e a gestão dos riscos a médio e longo prazo. Por fim, observou-se em geral uma insuficiente caracterização qualitativa de risco e falta de mecanismos efetivos de comunicação. Estes aspectos levantados poderão incentivar e nortear a realização de trabalhos futuros que

contemplem uma metodologia mais completa, e moldada às condições socioeconômicas e ambientais do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ATSDR. **Public Health Assessment Guidance Manual**, Atlanta, Georgia, 2005.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Q. A.. **Gestão de risco em saúde ambiental**. FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2002.

CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Out 2012.

CCPS. **Guidelines for Chemical Process Quantitative risk Analysis**, AIChE, New York, 1989.

CETESB. **Norma Técnica P4.261**. São Paulo, 2003.

CHUNG, P. W. H.; BROOMFIELD, E.; YANG, S. H.. Safety related questions for computer-controlled plants: Derivation, organization and application. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.11, p.397–406, 1998.

DEMIDOVA, O.; CHERP, A.. Risk assessment for improved treatment of health considerations in EIA. **Ecoline Environmental Assessment Center**, Russia, p.411–429, 2005.

DOLLADILLE, O.. Proposition d'une méthode d'analyse d'effet domino. **Pre´ventique-se´curite´**, v.44, p.62–70, 1999.

ETA. **Event tree analysis**: method, graphical symbols and evaluation, Nov 1985.

IEC. 61015. **Fault Tree Analysis (FTA)**, Out 1990.

UE - IHCP-TGD. European Commission-Joint Research Center. **Technical guidance document**, 2003.

IPCS. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization, 2013.

KENNEDY, R.; KIRWAN, B.. Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems. **Safety Sciences**, v.30, p.249–274, 1998.

KHAN, F. I.; ABBASI, S. A.. Multivariate hazard identification and ranking system. **Process Safety Progress**, v.17, n.3, p.157–170, 1998.

KHAN, F. I.; ABBASI, S. A.. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.11, p.261–277, 1998.

LIMA, C. A.. **Avaliação de Risco Ambiental como Ferramenta para o Descomissionamento de uma Indústria de Metalurgia de Zinco**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde. **Diretrizes Para Elaboração De Estudo De Avaliação De Risco À Saúde Humana Por Exposição A Contaminantes Químicos**, Brasília, 2006.

MOITA, N. M. J.; MOITA, C. G.. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Revista Química Nova**, v.21, n.4, p.467-469, 1998.

NICOLET-MONNIER, M.. Integrated regional risk assessment: The situation in Switzerland. **International B Journal of Environment and Pollution**, v.6, n.4-6, p.441–461, 1996.

NRC. **Risk assessment in the Federal Government**: managing the process. Washington, DC: National Academy Press, 1983.

OIEN, K.; SKLET, S.; NIELSEN, L.. **Development of risk level indicators for petroleum production platform**. In: Proceeding from ninth international symposium loss prevention and safety promotion in the process industries, p.382–393, 1998.

OMS. Organização Mundial da Saúde, Europa: EFSA, 2006.

OMS/IPCS. **Risk assessment toolkit**: chemical hazards, USA, 2010.

OTA. **EPA Superfund Actions and ATSDR Public**, Health Data, 1995.

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N.. **Análise de dados para ciências sociais**: a complementaridade do SPSS. 2 ed. Lisboa: Sílabo, 2000.

PITBLADO, R. M.; WILLIAMS, J. C.; SLATER, D. H.. Quantitative assessment of process safety programs. **Plant/Operations Progress**, v.9, n.3, p.169–175, 1990.

ROGERS, R. L.. Methodology for the Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for Use in Potentially Explosive Atmospheres. **Library Area SAFETYNET**, Inburex GmbH Hamm, 2000.

SOUZA, F. M. N.; SILVA, C. E.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R.. Análise de riscos como instrumento para sistemas de gestão ambiental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.3, n.1, p.17- 41, 2012.

TAMBELLINI A. T.; CÂMARA, V. M.. A temática saúde e ambiente no processo de desenvolvimento da Saúde Coletiva: aspectos históricos, conceituais e metodológicos. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.3, n.2, p.47-59, 1998.

TIXER, J.; DUSSERE, G.; SALVI, O.; GASTON, D.. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. **Jornal of Loss Prevention in the Process Industries**, p. 291-303, 2002.

TOOLA, A.. Plant level safety analysis. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.5, n.2, p.119–124, 1992.

TROUTT, M. D.; ELSAID, H. H.. The potential value of SAATY's eigenvector scaling method for short-term forecasting of currency exchanges rates. **Siam Review**, v.38, p.650–654, 1996.

UE–IHCP. **European Chemicals Bureau**, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, 2003.

USEPA. **Risk assessment guidance for superfund**. Washington, 1989.

USEPA. **Ambient water quality criteria document for mercury. Prepared by the Office of Health and Environmental Assessment**, Washington, 1998.

USEPA. **Benchmark dose technical guidance document (BDM)**. Washington, 2000.

USEPA. **Comparative risk framework methodology and case study**. Washington, 2003.

USEPA. **CatReg**: categorical regression, software, user manual. Washington, 2006.

VESELY, W.E.; GOLDBERG, F. F.; ROBERTS, N. H.; HAASL, D. F.. **Fault Tree Handbook. NUREG-0492 Nuclear Regulatory Commission**, Washington, 1981.

VANDENBRANDE, W. W.. How to use FMEA to reduce the size of your quality toolbox. **Quality Progress**, v.31, n.11, p. 97-100, 1998.