

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL DE TRABALHADORES AOS RISCOS DO ACETATO DE ETILA - UMA ABORDAGEM POR ANÁLISE BAYESIANA DE DECISÃO

Bruno Fernandes Vaz Ribeiro (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR) bribeiro@cnen.gov.br
Helton Luiz Santana Oliveira (PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS) heltonluiz@petrobras.com.br
Gilson Brito Alves Lima (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF) glima@id.uff.br

Resumo

O estudo foi conduzido num desenho quantitativo, sob um paradigma positivista, e finalidades exploratórias e explanatórias, tendo-se selecionada a metodologia Ex Post Facto. A amostra estudada é do tipo não probabilística e cujos trabalhadores que a integram foram selecionados com base na homogeneidade das suas exposições ocupacionais ao solvente Acetato de Etila. Empregou-se como procedimento técnico a Análise Bayesiana de Decisão – ABD – a qual se utiliza da estatística bayesiana para integrar múltiplas informações referentes às exposições dos trabalhadores e as classifica conforme a categorização de exposição proposta pela *American Industrial Hygiene Association* - AIHA. Neste trabalho, também foi utilizada a análise de risco qualitativa estruturada – (Quantitative Literacy Reasoning Assessment – QLRA) - para se obter informações iniciais, a serem utilizadas na ABD, acerca da exposição dos trabalhadores. Através da observação nos postos de trabalho, foram obtidas as informações necessárias para a elaboração da análise de risco, enquanto os resultados dos monitoramentos ambientais foram retirados do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRa da organização estudada, referente a anos anteriores através da análise qualitativa de risco, identificou-se que o risco pode ser classificado como moderado e, portanto, uma distribuição de probabilidades adequada para essa classificação foi utilizada na ABD. Os resultados obtidos demonstram distribuições de probabilidades diferentes daquelas realizadas pela empresa em virtude de terem sido utilizadas informações prévias na análise. Esse tipo de abordagem permite que o profissional incorpore o seu conhecimento, baseado na experiência adquirida ao longo dos anos, no processo de análise decisória de uma forma científica e reproduzível, apresentando uma solução gráfica simples e que permite a quantificação da incerteza.

Palavras-Chaves: Análise de Riscos; Higiene Ocupacional; Estatística Bayesiana; Análise Bayesiana de Decisão – ABD; QLRA.

1. Introdução

Os programas de higiene ocupacional, em geral, possuem como meta conceitual a eliminação de toda exposição aos agentes de risco que possam ser nocivos ao trabalhador (PETROBRAS, 2010; VALE, 2013). Assim, um dos objetivos mais importantes desses programas é a correta avaliação da exposição dos trabalhadores aos contaminantes do ar e, para tal, é necessário que se conduza uma avaliação adequada da exposição dos trabalhadores. (LEIDEL et al., 1977). Isso exige que sejam realizadas avaliações quantitativas, no ambiente laboral, e que o resultado dessas avaliações seja interpretado sob a luz da experiência, com exercício do julgamento profissional, a da legislação vigente.

Este trabalho tem o objetivo principal de empregar e testar a robustez do emprego da Análise Bayesiana de Decisão em programas de gerenciamento de riscos ocupacionais para trabalhadores expostos a acetato de etila. Quando se trata da possibilidade de um trabalhador sofrer um determinado dano decorrente de sua exposição a um agente ambiental (SESI, 2007), uma ferramenta fundamental a ser utilizada nessa avaliação são os limites de tolerância publicados pela Norma Regulamentadora 15 (BRASIL, 1978) ou na ausência destes, os limites estabelecidos pela Conferência Americana de Higienistas Ocupacionais - ACGIH.

De uma forma ideal, todos os trabalhadores expostos, ou potencialmente expostos, deveriam ser avaliados e uma conclusão acerca de suas exposições deveria ser tomada com base nos resultados dessas avaliações. Porém, os custos da análise laboratorial, do profissional responsável pela amostragem, além do tempo consumido, tornam tal prática insustentável e extremamente dispendiosa (LEIDEL et al., 1977). Com isso, a estratégia de avaliação mais razoável, buscando um uso mais eficiente dos recursos, consiste em agrupar os trabalhadores que possuam atividades e rotinas, do ponto de vista da exposição, similares.

Essa abordagem requer que menos amostras sejam coletadas e, ao mesmo tempo, permite o uso de ferramentas estatísticas para se avaliar a confiabilidade dos dados coletados. Considerando que o propósito de qualquer

programa de monitoramento deve ser o de identificar exposições inaceitáveis tão breve quanto possível, para que medidas de controle sejam adotadas, em determinado ponto uma decisão consciente deve ser tomada no sentido do que é mais apropriado, se direcionar mais recursos para a realização de amostragens ou mudar o foco para o controle da exposição (IRVING et al., 2009).

Quadro 1 – Esquema de categorização da exposição da AIHA

Categoria ¹	Descrição ²	Descrição Qualitativa ³	Interpretação Estatística ⁴
0	Triviais ou inexistentes	Exposições, se ocorrerem, raramente excedem 1% do LT	$X_{95} \leq 1\% \times LT$
1	Altamente controladas	Exposições raramente excedem 10% do LT	$1\% \times LT < X_{95} \leq 10\% \times LT$
2	Bem controladas	Exposições infrequentemente excedem o N.A. ou raramente excedem o LT	$10\% \times LT < X_{95} \leq 50\% \times LT$
3	Controladas	Exposições infrequentemente excedem o LT	$50\% \times LT < X_{95} \leq LT$
4	Mal controladas	Exposições frequentemente excedem o LT	$X_{95} > LT$

FONTE: JOHNSON, 2017

¹A categoria de exposição é selecionada sempre que o percentil 95% cair na faixa especificada; ² X_{95} = Percentil 95% para tomada de decisão; ³O termo “infrequentemente” refere-se a um evento que ocorre no máximo 5% do tempo e “raramente” refere-se a um evento que ocorre no máximo 1% do tempo.

Segundo Hewett et al (2006) a Análise Bayesiana de Decisão – ABD - é uma ferramenta desenvolvida para resolver os problemas relacionados ao tamanho das amostras e à interpretação dos dados obtidos. Consistindo em uma aplicação da estatística bayesiana orientada à tomada de decisões, a ABD utiliza diversos tipos de dados (avaliações anteriores, modelagem matemática, julgamento profissional, etc.) para se avaliar as exposições, dentro do contexto de categorização de exposição (TORRES et al., 2014), utilizando o conceito geral da teoria bayesiana para incorporar o conhecimento prévio do profissional de segurança e saúde do trabalhador no processo de tomada de decisão (HEWETT et al., 2006; LEE et al., 2013).

A estatística bayesiana faz uso de três componentes que constituem distribuições de probabilidades: uma distribuição à priori, a função de verossimilhança e a distribuição à posteriori (JOHNSON, 2017). Na ABD, a priori representa a probabilidade prévia do verdadeiro perfil de exposição estar dentro de uma das categorias de exposição determinadas especificadas e representa o conhecimento prévio acerca do grupo de exposição. A função verossimilhança representa a probabilidade de o resultado de cada nova amostragem pertencer a cada uma das categorias de exposição. Por último, a distribuição à posteriori integra as informações da priori e da verossimilhança e descreve a probabilidade de o verdadeiro valor do percentil 95% pertencer a determinada categoria. (HEWETT et al., 2006; VADALI et al, 2009; LEE et al., 2013; TORRES et al., 2014).

2. Métodos e Procedimentos de Pesquisa

O estudo aqui apresentado foi conduzido num desenho quantitativo, sob um paradigma positivista (GRAY, 2014), e finalidades exploratórias e explanatórias, tendo-se selecionada a metodologia Ex Post Facto. A amostra estudada é do tipo não probabilística e cujos 15 trabalhadores (Impressores e Operadores de Equipamentos) que a integram foram selecionados com base na homogeneidade das suas exposições ocupacionais ao solvente Acetato de Etila ($CH_3COOCH_2CH_3$ - Número CAS:141-78-6) a 30°C e 120 mmHg, por cerca de 8h diárias.

A organização estudada é uma empresa do setor de indústrias gráficas com um efetivo de mais de 300 trabalhadores, entre próprios e prestadores de serviços e, que está situada no estado do Rio de Janeiro. Por compreender a relevância acadêmica de divulgação da aplicação da técnica aqui empregada a empresa autoriza a publicação desde que mantido o seu anonimato e, diante desse compromisso entre a empresa e os autores, doravante será referida apenas como Organização Estudada. Das instalações da organização estudada, foi selecionada a avaliação efetuada no setor de impressão.

Para a determinação das prioris foi utilizada a análise de risco qualitativa estruturada (QLRA - *The Quantitative Literacy Reasoning Assessment*, em inglês) junto com as prioris genéricas existentes no software IH Data Analyst - IHDA, da empresa *Exposure Assessment Solutions, Inc.* A QLRA estruturada é um método proposto por Ignacio e Bullock (2006) e consiste em uma técnica baseada em atividades, cujo resultado final é uma categorização de riscos similar àquela da AIHA, resultante do produto das classificações do potencial de dispersão do agente, das medidas de controle existentes e da frequência/duração da atividade, combinado com a classificação dos riscos à saúde (figura 1).

Os dados utilizados para a QLRA foram obtidos a partir de observações das atividades realizadas pelos trabalhadores, equipamentos utilizados, medidas de controle existentes e documentos da empresa. Após a análise dos dados, combinando-se a classificação da exposição com os efeitos à saúde, foi possível se determinar o risco associado.

Figura 1 – Matriz de risco

		0	1	2	3	4
Efeitos à saúde	4	Trivial	Moderada	Moderada	Alta	Muito Alta
	3	Trivial	Moderada	Moderada	Alta	Alta
	2	Trivial	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
	1	Trivial	Baixa	Moderada	Moderada	Moderada
	0	Trivial	Trivial	Trivial	Trivial	Trivial
		Exposição				

Fonte: Torres et al (2014)

Os valores referentes aos monitoramentos ambientais foram retirados do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, referente a dois anos consecutivos de acompanhamento (Tabela 1). No segundo ano de monitoramento foi realizada uma ABD.

Tabela 1 – Concentração de Acetato de Etila no Ambiente de Trabalho (em ppm)

n	Ano 1	Ano 2
1	139.5	141.1
2	168.8	118.8
3	110.1	90.1

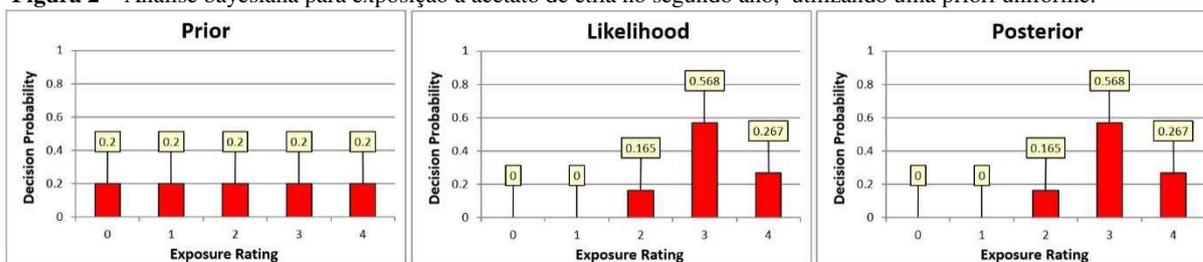
Fonte: Relatório de PPRA da organização estudada.

As informações foram inseridas no software IHDA, desenvolvido pela Exposure Assessment Solutions, Inc. (EAS), e que foi especialmente projetado para auxiliar o higienista industrial na interpretação de conjuntos de dados onde o tamanho da amostra é pequeno. Para tanto utilizou-se de distribuições prioris genéricas fornecidas pelo próprio programa, levando-se em consideração a classificação de risco determinada pela QLRA - Quantitative Literacy Reasoning Assessment. Posteriormente, os resultados obtidos para primeiro ano foram reinseridos como priori do segundo ano.

3. Análise de Resultados e Discussão

A análise bayesiana realizada pela empresa (figura 2), no segundo ano, demonstra existir 56.80% de chances de o percentil 95% estar entre o nível de ação e o limite de tolerância, 26.70% de chances de ele estar acima do limite e 16.50% de o percentil se encontrar entre 10% do limite de tolerância e o nível de ação. Diante desse quadro, é de se supor que não é improvável de se obter valores superiores aos limites legais no ambiente de trabalho. Ressalta-se, porém, que os resultados da análise bayesiana feita pela empresa, foram realizados utilizando uma priori não-informativa, ou uniforme. Com isso, a posteriori reflete apenas os dados coletados, visto que nenhuma estimativa inicial da exposição dos trabalhadores foi determinada.

Figura 2 – Análise bayesiana para exposição a acetato de etila no segundo ano, utilizando uma priori uniforme.

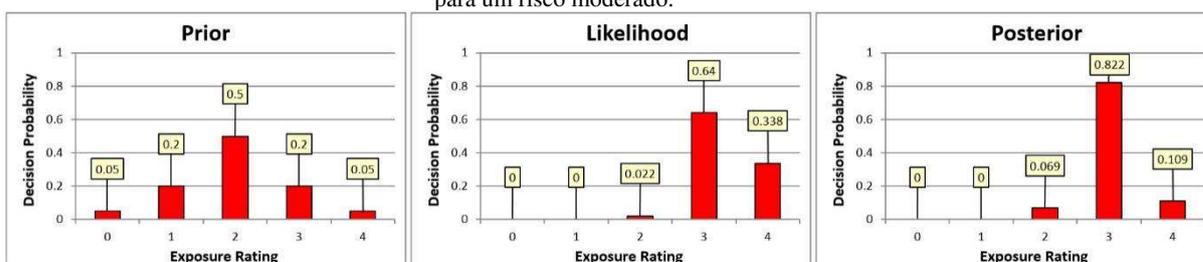


Fonte: Os autores.

Importante considerar que, de acordo com Hewett et al (2006), uma priori uniforme é usada para representar uma “completa ignorância” quanto a um conjunto de escolhas e, em geral, é apropriado quando estamos analisando uma situação nova ou alguma operação que tenha sofrido uma mudança significativa. Assim, como haviam dados do primeiro ano disponíveis, além da experiência dos profissionais que compõem o Serviço Especializado em Segurança e Medicina do Trabalho – SESMT, estes poderiam ter sido considerados para a análise.

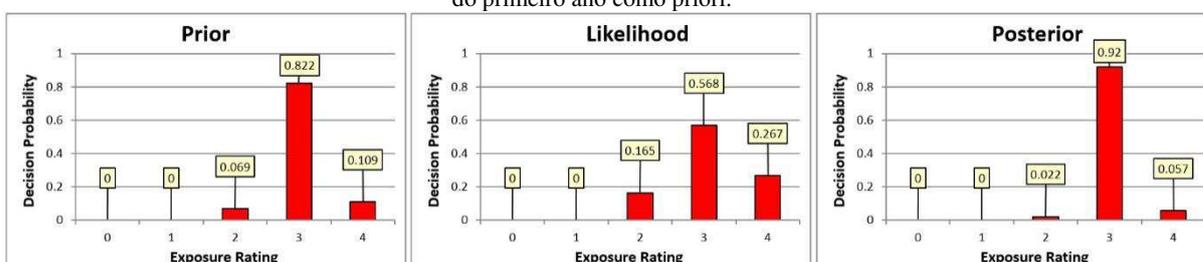
Com os dados coletados e utilizados na análise qualitativa de risco, identificou-se que o risco pode ser classificado como moderado. Desta forma foi utilizada a priori genérica adequada para essa classificação. Os resultados obtidos apontam uma probabilidade de 82.20% de chances da real distribuição da exposição dos trabalhadores apresentarem um percentil 95% entre o nível de ação e o limite de tolerância e apenas 10.90% de estar acima dos limites legais.

Figura 3 – Análise bayesiana para exposição a acetato de etila no ano de 2008, utilizando uma priori genérica para um risco moderado.



Utilizando-se o resultado do primeiro ano como priori do segundo ano (figura 3), obtém-se um resultado bem diferente do apresentado (figura 2), permitindo uma conclusão mais segura acerca das exposições dos trabalhadores.

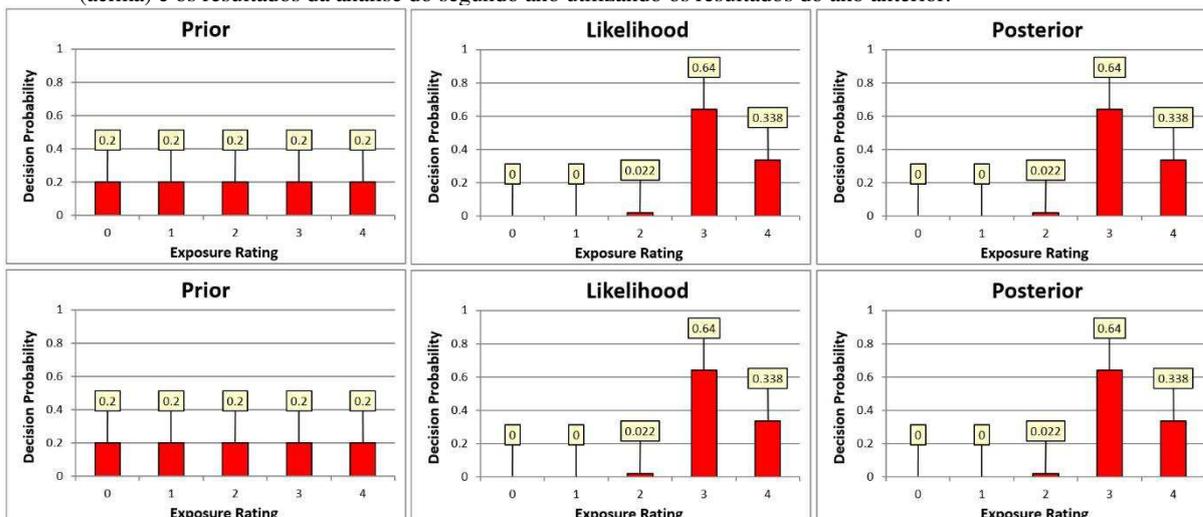
Figura 4 – Análise bayesiana para exposição a acetato de etila no segundo ano, utilizando os resultados do primeiro ano como priori.



Conforme pode ser observado o uso posteriori do primeiro ano como referência para o segundo ano fornece, como resultado, um conjunto de decisões com maior definição, o que facilita a conclusão do responsável pela tomada de decisões. A análise feita pela empresa para o segundo ano apresentava uma probabilidade de 56.80% de chances de o perfil de exposição se enquadrar na Categoria 3, enquanto a elaborada nesse estudo aponta uma probabilidade de 92%.

Ainda que a empresa optasse pela utilização de uma priori não-informativa no primeiro ano, a utilização dos resultados deste como priori para o ano posterior teria como uma distribuição e probabilidades com 79.5% (figura 5) do perfil de exposição se encontrar entre o nível de ação e o limite de tolerância, valor superior àquele apresentado no estudo da empresa.

Figura 5 – Resultados da análise realizada para o primeiro ano, com o uso de uma priori não informativa (acima) e os resultados da análise do segundo ano utilizando os resultados do ano anterior.



4. Conclusões e Considerações Finais

A análise bayesiana de decisão – ABD - é uma técnica de abordagem, relativamente recente para auxiliar no processo de tomada de decisões no que diz respeito à exposição dos trabalhadores a agentes químicos. No estudo aqui descrito concluiu-se que o risco aos trabalhadores da amostra estudada pode ser classificado como moderado.

Essa abordagem permitiu ao usuário incorporar o seu conhecimento, baseado na experiência adquirida ao longo dos anos, no processo de análise decisória de uma forma científica e reproduzível. Na ausência de uma experiência adequada, existe a possibilidade de serem utilizados modelos de exposição, sejam eles qualitativos, quantitativos ou semi-quantitativos, em substituição, o que pode ser mais aceito pelos profissionais de segurança e saúde em função da facilidade com que os resultados podem ser reproduzidos.

Ainda que a organização estudada não houvesse utilizado uma análise qualitativa para a definição da priori, independentemente do método utilizado, ela poderia ter realizado uma análise para o primeiro ano, utilizando uma priori uniforme, e utilizado os resultados como informações prévias para o segundo ano. Tais resultados permitiram uma análise mais acurada da real exposição dos trabalhadores. De uma maneira geral, a análise bayesiana de decisões permite a quantificação da incerteza o que, para programas de gerenciamento de riscos, é um fator de grande importância. Também, por apresentar uma solução gráfica simples, ela permite uma fácil comunicação tanto com o corpo executivo da empresa quanto com os empregados.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam registrar seu agradecimento aos revisores do artigo por seus valiosos comentários e recomendações para melhoria do texto.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que não têm conflitos de interesses com relação à pesquisa, autoria e/ou publicação deste artigo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Portaria GM nº 3214 - Norma Regulamentadora - **NR 15** - Atividades Insalubres, 1978.

GRAY, D. E. – **Doing Research in the real World**, 3rd ed, Sage, London, 2014.

HEWETT, P.; LOGAN, P.; MULHAUSEN, J.; et al. Rating Exposure Control Using Bayesian Analysis. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 3, p. 568-581, Out. 2006.

IGNACIO, J.S.; W. BULLOCK. **A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures**, 3rd ed. Fairfax, Ca.: American Industrial Hygiene Association, 2006.

IRVING, G. DJUKIC, F. TIERNAN. G. HEDGES, K. Similar Exposure Groups (SEGs) and the Importance of Clearly Defining Them. In: **Queensland Mining Industry Health & Safety Conference**. Queensland: Queensland Department of Employment, Economic Development and Innovation, 2009. <Disponível em http://qrc.org.au/conference/?page_id=539>. Acesso em 20 dez 2017.

JOHNSON, D. L. - **Statistical Tools for the Comprehensive Practice of Industrial Hygiene and Environmental Health Sciences**. 1st ed, Hoboken, NJ (USA): John Wiley & Sons, 2017.

LEE, E. G. KIM, S. W. FEIGLEY, C. E. HARPER, M. Exposure Models for the Prior Distribution in Bayesian Decision Analysis for Occupational Hygiene Decision Making. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 10:2, p. 97-108, Fev. 2013.

LEIDEL, N.A.; BUSCH, K.A.; LYNCH, J.R. **Occupational Exposure Sampling Strategy Manual**. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health, 1977.

PETROBRAS. **Estratégia de Amostragem de Agentes Ambientais Para o Desenvolvimento do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. - PB-PP-03-00008, Rio de Janeiro: Petrobras, 2010.

SESI - DN. **Técnicas de Avaliação de Agentes Ambientais**. SESI – DN: Brasília – DF, 2007

TORRES, C. JONES, R. BOELTER, F. et al. A Model to Systematically Employ Professional Judgment in the Bayesian Decision Analysis for a Semiconductor Industry Exposure Assessment. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 11:6, p. 343-353, Mai. 2014

VADALI, M. RAMACHANDRAN, G. MULHAUSEN, J. Exposure Modeling in Occupational Hygiene Decision Making. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, 6:6, p. 353-362, Jun. 2009.

VALE FERTILIZANTES. **Diretrizes Corporativas de Higiene Ocupacional para Elaboração do PPRA/PGR1**. Rio de Janeiro, 2013.