



EM DEBATE

Saúde em Debate

ISSN: 0103-1104

ISSN: 2358-2898

Centro Brasileiro de Estudos de Saúde

Raffagnato, Carolina Gomes; Cardoso, Telma Abdalla de Oliveira; Fontes, Fábio de Vasconcelos; Carpes, Mariana Montez; Cohen, Simone Cynamon; Calçada, Luís Américo

Terrorismo químico: proposta de modelagem de risco envolvendo ricina em eventos de grande visibilidade no Brasil

Saúde em Debate, vol. 43, núm. 3, Esp., 2019, pp. 152-164

Centro Brasileiro de Estudos de Saúde

DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S311>

Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=406369065012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais informações do artigo
- Site da revista em redalyc.org

UABM redalyc.org

Sistema de Informação Científica Redalyc

Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe, Espanha e Portugal

Sem fins lucrativos acadêmica projeto, desenvolvido no âmbito da iniciativa
acesso aberto

Terrorismo químico: proposta de modelagem de risco envolvendo ricina em eventos de grande visibilidade no Brasil

Chemical terrorism: risk modeling proposal for attacks involving ricin in mass gatherings in Brazil

Carolina Gomes Raffagnato¹, Telma Abdalla de Oliveira Cardoso², Fábio de Vasconcelos Fontes², Mariana Montez Carpes¹, Simone Cynamon Cohen², Luís Américo Calçada³

DOI: 10.1590/0103-11042019S311

RESUMO Grandes eventos estão no centro de estratégias terroristas e vem-se repetindo com frequência no âmbito internacional. Durante os últimos anos, o Brasil é palco de megaeventos esportivos; e este ano sediará a Copa do Mundo Fifa Sub-17. Assume-se que a maior exposição, nesses contextos, aumenta a vulnerabilidade ante as ameaças não convencionais, assim, é necessário que o planejamento da segurança brasileira seja apoiado em estudos sobre gestão de risco. Considera-se que um maior conhecimento sobre o tema é o primeiro passo para um sistema de defesa eficiente. A literatura apresenta relatos de episódios de emprego da ricina como arma química. Assim, este estudo objetivou avaliar a probabilidade de risco de um ataque terrorista com ricina, em um modelo matemático. Para isso, foi utilizada a teoria dos jogos e a equação de probabilidade de Major para análise de risco de terrorismo. A escolha da ricina justifica-se pelo fato de se tratar de uma biotoxina de extração relativamente simples, proveniente da mamona, que é uma planta endêmica no território brasileiro. Os parâmetros analisados foram os recursos de ataque, defesa e valor do alvo. A equação de probabilidade foi otimizada para defesa.

PALAVRAS-CHAVE Terrorismo químico. Ricina. Probabilidade. Simulação por computador. Gestão de riscos.

ABSTRACT Mass gatherings are at the center of terrorist strategies and are being repeated more frequently at international level. During the last years, Brazil has been the stage of mass gatherings, and it is supposed to host the Fifa Sub-17 World Cup this year. It is assumed that large exposure in these contexts increases vulnerability to threats, therefore it is necessary that safety planning be supported in risk management studies. It is considered that a greater knowledge of the topic is the first step towards an efficient defense system. This study aims to evaluate the probability of a ricin terrorist attack on a mathematical model. Existing literature shows reports of episodes of use of ricin as a chemical weapon. The choice of ricin is justified because it's a relatively easy biotoxin extraction from castor bean, which is an endemic plant in the Brazilian territory. For such study, we used game theory and the Major probability equation for terrorism risk analysis. The parameters analyzed were the resources of attack, defense, and value of the target. The probability equation has been optimized for defense.

KEYWORDS Chemical terrorism. Ricin. Probability. Computer simulation. Risk management.

¹Escola de Comando e Estado Maior do Exército (Eceme), Instituto Meira Mattos (IMM) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. carolina.raffagnato@gmail.com

²Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (Ensp) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

³Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Departamento de Engenharia Química (DEQ) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Introdução

Ainda que o fenômeno do terrorismo não seja uma novidade do século XXI, após os atentados de 11 de setembro de 2001, nota-se um esforço internacional no sentido de prevenir e combater essa ameaça. Antes circunscrito às lutas principalmente políticas domésticas, o terrorismo contemporâneo caracteriza-se por sua transnacionalização, aleatoriedade de alvos e ausência de um objetivo claro a ser negociado, sugerindo que, na atualidade, ele deixou de ser um meio e passou a ser um fim em si mesmo. Ainda, e de particular importância, é o caráter híbrido dessas organizações que se travestem de ideais religiosos para legitimar ‘guerras santas’ entre o bem e mal¹.

Para além dessa caracterização geral, não há consenso na literatura quanto ao que venha a ser terrorismo e/ou um grupo terrorista, dificultando o seu combate ou prevenção². Prabha³ observa a volatilidade da definição conceitual amplamente suscetível ao contexto. Assim, em realidades nas quais sobressaem os conflitos de natureza socioeconômica, o terrorismo é definido no embate entre possuidores e despossuídos, ao passo que, em realidades nas quais o peso dos confrontos sociais de natureza política assumem maior relevância, ele é definido como tática para aumentar o poder de barganha de um dos atores em conflito³.

Apesar da implicação que a imprecisão conceitual traz para a formulação de políticas de prevenção e combate ao terrorismo, um aspecto comum à literatura e aos relatórios internacionais sobre o tema é o impacto que o ataque às Torres Gêmeas em 2001 teve sobre a maneira como o mundo passou a se organizar em torno da questão. Pode-se dizer que esse evento levou a uma quebra paradigmática não

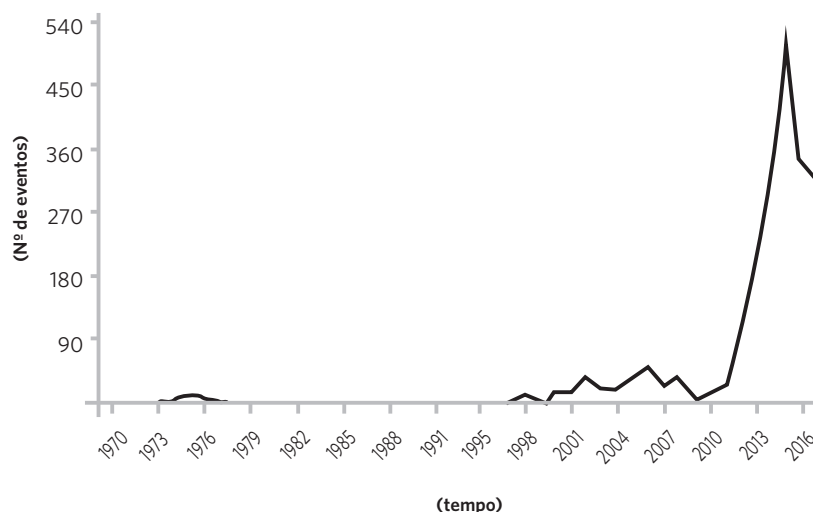
apenas na literatura sobre o tema, mas também no *modus operandi* da política internacional.

Imediatamente após os ataques, a Organização das Nações Unidas adotou a Resolução nº 1.373⁴ condenando o terrorismo e buscando melhorar a cooperação internacional contra esse tipo de ameaça. Em 2002, a Organização dos Estados Americanos (OEA) adotou a Convenção Interamericana contra o Terrorismo, com vistas ao fortalecimento da cooperação hemisférica para a prevenção, combate e eliminação do terrorismo. Finalmente, o mais emblemático dos documentos internacionais contra o terrorismo, a Resolução nº 1.540, da Organização das Nações Unidas⁵, que trata, pela primeira vez, terrorismo e Armas de Destruição em Massa (ADM) associados. Esse documento enfatiza o perigo da aquisição de ADM por grupos não estatais (terrorismo), abordando ameaças não cobertas pelos mecanismos de não proliferação existentes, com destaque para aqueles que versam sobre o controle nas áreas biológica, química e nuclear. Essa ênfase nos perigos da associação entre terrorismo e ADM é uma reação não apenas aos eventos do 11 de setembro, mas àqueles que antecederam e sucederam este episódio.

Como dito, a partir dos ataques de 11 de setembro de 2001, o terrorismo adquiriu novas feições, transnacionalizando-se e fazendo uso das redes sociais para a cooptação de novos membros – grande parte das vezes, jovens que não possuem identidade com a causa propagada por essas organizações. Tais aspectos contribuíram para a aleatoriedade dos ataques realizados desde então, dificultando a antecipação do preparo das forças de segurança.

O gráfico 1 mostra os eventos terroristas ao longo das duas últimas décadas.

Gráfico 1. Eventos terroristas ao longo do tempo



Fonte: Global Terrorism Database⁶.

Observa-se um crescimento no número de eventos a partir de 1998, quando a Al-Qaeda atacou as embaixadas dos Estados Unidos em Nairóbi, no Quênia, e em Dar es Salaam, na Tanzânia. O aumento apresentado entre os anos de 2013 e 2016 pode ser explicado pelo grande número de eventos sucessivos, como o atentado à maratona de Boston, as cartas contendo ricina endereçadas aos políticos nos Estados Unidos, em 2013, e o ataque a sede do jornal 'Charlie Hebdo', na França, em 2015. O número alto de eventos, após o ano de 2013, deve-se também aos diversos ataques utilizando armas químicas na guerra na Síria nesse período.

Conceitualmente, as armas químicas podem ser definidas como um produto químico usado para causar morte intencional ou dano por meio de suas propriedades tóxicas. Munições, dispositivos e outros equipamentos especificamente projetados para neutralizar produtos químicos tóxicos também se enquadram na definição de armas químicas. Essas armas causam um número de baixas muito maior do que as convencionais e com menor quantidade de material empregado. O baixo custo e a relativa facilidade de sua produção e manejo

possibilitaram a difusão de seu emprego por grupos terroristas.

Como visto, a reação internacional se deu na forma de resoluções conclamando os Estados a cooperarem com os esforços de prevenção e combate ao terrorismo, o que, na prática, só pode ser feito quando tais medidas são convertidas em legislação nacional sobre o tema, possibilitando a criação de planos nacionais de emergência e de gestão de risco⁷. O Brasil vem apresentando, nos primeiros anos do século XXI, um aumento significativo de sua inserção no cenário internacional; e, como consequência, sendo mais requisitado para sediar eventos de grandes proporções. Apesar de possuir tradição pacífica, essa projeção demanda esforços em torno de temas relacionados com a defesa e com a segurança⁸.

Lideranças das esferas públicas e privadas começaram a procurar análises de risco para avaliar os riscos que cada alvo em potencial possui e orientar decisões relacionadas com as medidas de proteção a serem adotadas. Segundo Parnell⁹, o presidente dos Estados Unidos pediu para o Departamento de Segurança Interna (Department of Homeland Security) fazer uma análise de risco de bioterrorismo, de modo a

orientar a priorização de investimentos em pesquisa, planejamento e preparação relacionados à biossegurança.

Desde 2007, quando sediou os jogos Pan-Americanos, o primeiro de uma série de grandes eventos internacionais, cresceu a preocupação de que o Brasil pudesse ser palco de um ataque terrorista. Ainda que tal consideração pareça incerta perante a posição não conflituosa do País na política internacional, o aumento da circulação de delegações estrangeiras, bem como do fluxo de turistas e o próprio perfil de grande visibilidade dos eventos sediados, aumenta a vulnerabilidade brasileira diante das ameaças não convencionais.

Em junho/julho de 2019, o Brasil sediou a 46a edição da Copa América; e em outubro, sediará a Copa do Mundo Fifa Sub-17, eventos de grande visibilidade internacional. Assim, dados: o contexto, a disponibilidade da matéria-prima, o baixo custo, e a relativa simplicidade na produção da ricina, defende-se a relevância de estudos, que possam auxiliar na preparação das equipes de primeira resposta, como bombeiros, defesa civil e polícias; além disso, estimular reflexões sobre o tema.

Destarte, este estudo tem como objetivo analisar a probabilidade de risco de um ataque terrorista no Brasil com ricina, destacando a importância da ampliação do conhecimento como primeiro passo para um sistema de defesa eficiente; uma vez que a identificação do agente é crucial não apenas para a contenção da disseminação e o controle da contaminação, com a correta prestação de socorro às vítimas, mas também para a escolha correta dos equipamentos de proteção individual dos respondedores. Diferentemente de um ataque terrorista utilizando armamentos convencionais, em um atentado de origem química, há um agravamento proveniente do desconhecimento inicial da substância empregada, o que atrasa, quando não compromete, o trabalho dos primeiros respondedores¹⁰. Dessa forma, as equações matemáticas da abordagem probabilística de risco podem auxiliar na estimativa das consequências de um ataque químico, sendo

capaz de contribuir para apoiar a alocação de recursos para o enfrentamento/mitigação dos riscos em estudos antiterrorismo.

Ricina: a toxina da mamona

A escolha pela ricina não foi aleatória. Essa toxina apresenta grande potencial para ser utilizada como arma química, uma vez que é produzida da semente da mamona (*Ricinus communis* L.). Estima-se que cada semente possa conter aproximadamente 1% a 5% da molécula^{11,12}.

O maior produtor mundial de mamona é a Índia, seguido da China e do Brasil¹³. A extração de uma tonelada de óleo gera em torno de 1,2 ton. de resíduos, chamados de torta de mamona. A ricina fica concentrada na torta. Tanto a torta quanto a casca podem ser utilizados como adubo orgânico e como alimento alternativo para animais ruminantes¹⁴. Porém, existem casos de intoxicação em animais por ingestão da torta, sendo necessário tratamento químico ou térmico.

A ricina é uma toxina solúvel em água e muito potente aos homens, animais e insetos. É considerada uma substância química de alto risco para os seres vivos segundo a Convenção de Proibição de Armas Químicas (CPAQ), sendo também classificada como um agente biológico de categoria B pelo Centers for Disease Control and Prevention¹⁵. As substâncias dessa classe apresentam moderada facilidade de disseminação, a intoxicação resulta em morbidade moderada e baixa mortalidade e requer vigilância e aprimoramento de diagnóstico.

A clínica e os efeitos fisiopatológicos da intoxicação por ricina dependerão da dose/concentração, do tempo e via de exposição. As principais rotas de exposição são a ingestão, a inalação e o contato com os olhos, mas pode também ser injetada. No caso de contato com a pele, se esta estiver intacta, é provável que não haja intoxicação ou absorção, devido ao fato da ricina ser uma toxina de natureza proteica de elevado peso molecular¹⁶ (*quadro 1*).

Quadro 1. Rotas de exposição, dose letal de 50% da população e sintomas associados à exposição à ricina

Rota de Exposição	DL50	Sintomas
Ingestão	25-100 mg/kg	Começa em cerca de 4 horas ou 6 horas, mas pode ter período de latência de até 10 horas. Dor abdominal, vômitos com ou sem sangue, diarreia com ou sem sangue, azia, disfagia. Pode causar inflamação severa do intestino e estômago, desorientação, sonolência, fraqueza, convulsão e sede em excesso. Há desbalanceamento de eletrólitos, desidratação, hipotensão e colapso circulatório. Pode apresentar sangue na urina. Pode levar à morte.
Injeção	5-15µg/kg	Pode ter latência de 10 horas a 12 horas. Febre, dor de cabeça, tontura, náusea, anorexia, hipotensão, dor abdominal e pode apresentar ferida no local da injeção.
Dermatológica/ Oftalmológica	-	O contato com a pele pode causar dor, irritação e possível alergia. O contato com os olhos pode causar conjuntivite, lacrimação, inchaço, vermelhidão, destruição de tecidos, hemorragia da retina, visão prejudicada e cegueira. O contato com os olhos pode causar a intoxicação do corpo, podendo levar à morte.

Fonte: Audi et al., 2005¹¹; Musshoff e Madea, 2009¹²; CDC, 2011¹⁶; Fonseca e Blanco, 2014¹⁷.

De todas as rotas de exposição, a disseminação aérea da ricina tem o maior potencial como ameaça às populações urbanas. No entanto, a disseminação por aerossóis também pode ser utilizada para contaminação de água e alimentos¹⁵.

O modo de ação da ricina no organismo é a aglutinação de células vermelhas, seguida de hemólise intensa. Os principais sintomas de envenenamento são: paralisia da respiração e sistema vasomotor, cólicas abdominais, diarreia, perda de apetite, aumento do ritmo cardíaco, ausência de coordenação motora, febre e hemorragia¹⁷.

A ricinina, alcaloide encontrado na folha da mamona, pode ser utilizada como biomarcador, e segundo alguns estudos, ela pode ser encontrada na urina da pessoa exposta após a contaminação^{11,17,18}. Em caso de exposição, o tratamento é sintomático e de suporte, uma vez que não existem antídotos disponíveis para a ricina^{11,12,19}.

Por se tratar de um pó branco, pode ser visualmente confundido com diversos outros produtos, dificultando uma identificação rápida. A célere detecção e identificação das substâncias presentes em uma amostra é determinante para o gerenciamento de um caso de suspeita de ataque com ricina. Existem detectores dessa toxina baseados em RTQ-PCR e Elisa, porém podem

oferecer resultados falso-positivos na presença de outras substâncias, sendo necessária a tomada de amostras, bem como seu envio ao laboratório de referência para confirmação do agente²⁰⁻²².

No caso da ricina ter sido utilizado na forma de aerossóis, há de se ter em conta a possível reaerolização, originando novos casos de intoxicação por exposição das vias aéreas. Esse é um conceito imprescindível para a descontaminação das pessoas e dos materiais na zona afetada. A descontaminação de pessoas expostas à ricina consiste apenas na remoção das roupas, seguida por lavagem da pele com água corrente. Soluções de hipoclorito sódico a 0,5% têm-se demonstrado eficazes na descontaminação de materiais^{23,24}.

Teoria dos jogos e avaliação de risco adversário

Entre as substâncias químicas relacionadas na Convenção para a Proibição de Armas Químicas (CWC), a ricina representa elevado risco, como foi dito anteriormente, devido a sua alta toxidez, grande disponibilidade e facilidade de extração.

A avaliação de risco tem ajudado as equipes de primeira resposta a avaliar, comunicar e gerenciar o risco representado por agentes

químicos de uso em ataques terroristas. Na Avaliação do Risco Adversário (ARA) ou análise probabilística de risco, os riscos incertos foram modelados usando distribuições de probabilidade para ameaças, vulnerabilidades e consequências. É uma técnica que vem sendo empregada ao longo do tempo para avaliar as probabilidades e consequências de falhas de um sistema. Também é utilizada para orientar decisões relacionadas com a gestão de riscos de empresas e governo.

O estudo sobre o risco de terrorismo se assemelha ao estudo de sistemas complexos de engenharia, assim como de desastres naturais. No entanto, apresenta a intenção humana, em contraponto aos sistemas complexos de engenharia, e é gerado pela inteligência humana²⁵. Por essas particularidades, este artigo propõe a combinação da teoria dos jogos, na medida em que ela é utilizada para modelagem de fenômenos, quando existem dois ou mais atores (jogadores), ou seja, dois ou mais agentes de decisão²⁶. A teoria dos jogos é uma teoria matemática, criada para modelar ações, estudando as tomadas de decisões entre atores quando há interdependência dos resultados, ou seja, quando interagem entre si fazendo escolhas. É uma forma de análise de decisões estratégicas em que os jogadores agem levando em consideração a reação de seus adversários ou a consequência de suas ações para si mesmos²⁷. Uma vez que a ARA é uma avaliação baseada na probabilidade, e a teoria dos jogos, um sistema que estuda estratégias, entende-se que a junção dessas duas ferramentas produzirá um modelo para análise de possíveis cenários envolvendo terrorismo.

Na aplicação desse modelo, é utilizada uma equação que calcula a probabilidade de forma consistente, baseada nas possíveis estratégias de ações de cada jogador. Assim, cria-se o perfil com todas as situações possíveis, já que cada jogador terá preferências individuais para cada situação no jogo²⁷.

De acordo com Fricker²⁸, existem três tipos de teoria dos jogos que são aplicáveis às análises de terrorismo: os jogos clássicos, nos quais os atores, as estratégias e as ações são

completamente especificadas – nesse tipo de jogo são estudados os equilíbrios entre atacantes e defesa; os jogos repetitivos, que ocorrem ao longo do tempo e têm atacante e defesa interagindo repetidas vezes – são utilizados para estudar as estratégias que podem resultar em desfechos desfavoráveis; e os jogos de mesa, que consistem na simulação adversária com dois ou mais jogadores reais usando um conjunto de regras, dados e procedimentos que descrevem um conflito. Este último tipo é utilizado para as análises de risco.

Sob a perspectiva desse tipo, utilizar-se-á a equação de Major²⁵. A probabilidade do sucesso de um ataque terrorista pode ser calculada por essa equação, que é baseada no modelo proposto por Woo²⁹, exposto abaixo:

$$\log\{P(U[C,T])\} = a - b_1C - b_2T$$

Em que:

$P(U[C,T])$ é a probabilidade de sucesso de ataque;

a é um fator dado;

b_1 e b_2 são parâmetros estimados por especialistas a partir de dados empíricos;

C é o local do alvo;

T é a classificação do alvo quanto ao tipo.

Esse modelo descreve a probabilidade em função do local em que o evento pode vir a ocorrer. Os dados são obtidos a partir de análises estatísticas de eventos passados, testes, modelos, simulações e avaliações de especialistas no assunto. No entanto, em eventos terroristas, essa probabilidade não se aplica plenamente, uma vez que não há um padrão de ataque baseado em eventos passados, porque as motivações mudam com o tempo.

O modelo proposto por Major²⁵ mostra ser mais eficiente do que o de Woo²⁹, uma vez que considera, além do alvo, dois outros fatores:

os recursos de ataque e os recursos de defesa. Esses fatores são relevantes neste trabalho, porque, para o estudo, será considerado o capital financeiro e o número de indivíduos. O modelo de Major:

$$p(V_i, A_i, D_i) = \exp\left(\frac{-A_i D_i}{\sqrt{V_i}}\right)$$

Em que:

A_i é o recurso de ataque;

D_i é o recurso de defesa;

V_i é o valor do alvo.

Major²⁵ considera também a perda, ou perda esperada, propondo uma equação para o seu cálculo. A análise da perda é importante, pois, para a construção da avaliação de risco, a melhor estratégia da defesa sempre será aquela que combina a maior probabilidade de sucesso do ataque com a menor perda esperada. Ou seja, a melhor estratégia de defesa sempre será aquela que minimizar a perda esperada dos alvos.

A equação para o cálculo da perda esperada de Major²⁵ é:

$$PE = \sum_i V_i * p(V_i, A_i, D_i)$$

Em que:

$p(V_i, A_i, D_i)$ é a probabilidade de sucesso de ataque;

A_i é o recurso de ataque;

D_i é o recurso de defesa;

V_i é o valor do alvo.

Metodologia

Para alcançar o objetivo de analisar a probabilidade de risco de um ataque terrorista com ricina no Brasil, buscou-se definir um cenário, mais significativo e mais próximo da realidade, para o ataque com a biotoxina. Utilizou-se o *software* matemático Octave, versão 4.2.1, para a análise das equações, aplicando-se a teoria dos jogos, como base de estratégia dos jogadores, atacantes e defensores.

O cenário e a ponderação das variáveis

É difícil estimar valores para danos resultantes de ataques químicos. Do mesmo modo, é complexo definir números para cada variável, uma vez que não se pode afirmar quanto custa um ataque terrorista para um grupo extremista. Dessa forma, estimou-se o valor de ataque neste trabalho a partir das formas de dispersão que a ricina pode ter. Quanto mais difícil for a rota de obtenção e fabricação da arma química, maior será o recurso de ataque associado.

Sabe-se que, ao final da rota normal de extração da ricina, obtêm-se um pó. Este pode ser disperso de três formas: dispersão em caixa d'água, dispersão por meio de aerossóis e dispersão do pó em dutos de ar.

A dispersão desse pó em uma caixa d'água é a forma de ataque que menos envolve gasto e risco para o atacante. Além disso, a ingestão do pó solúvel em água é a forma que menos gera impacto à saúde, precisando de uma grande quantidade para que o dano seja considerável.

Como neste trabalho não foram estudados alvos específicos, para os valores de alvo atribuiu-se números de 0,05 (alvo de menor impacto) até 1,00 (alvo de maior impacto), como mostra o *quadro 2*. A atribuição desses valores foi feita para que os recursos associados a cada variável estivessem na mesma ordem de grandeza.

Quadro 2. Valores assumidos para o recurso de defesa e de alvo, de acordo com a ordem de grandeza do recurso de ataque

Valor de Defesa e de Alvo	
0,05	0,55
0,08	0,60
0,10	0,65
0,15	0,70
0,20	0,75
0,25	0,80
0,30	0,85
0,35	0,90
0,40	0,95
0,45	1,00
0,50	-

Fonte: Elaboração própria, 2018.

Por isso, para fins de cálculo da análise de risco, deu-se à forma de dispersão da ricina em caixa d'água o valor 0,10. Este mesmo pó, se for dispersado em dutos de ventilação de um prédio, gera um risco maior para o atacante, aumentando a sua exposição. A dispersão desse material em forma de aerossol faz com que o atacante precise tratar a substância tóxica após a extração, transformando-a em coloide. É necessário que o atacante tenha conceitos de química para realizar essa transformação, o que torna essa via de exposição com maior alocação de recursos. A inalação desse material é extremamente severa; e com quantidades, baixas pode levar a óbito. Assim, é a forma que representa um risco maior para a população exposta. Este último cenário foi escolhido para ser trabalhado neste artigo; e a esta estratégia de ataque deu-se o valor 1,00.

Se um ataque terrorista acontecesse hoje no Brasil, a primeira equipe a chegar seria a polícia, por causa da facilidade de acesso e proximidade com a população. A partir disso, fez-se a ponderação de defesa, levando o agente em consideração. Sabe-se também que

o custo de uma arma química é, em geral, bem menor do que o de um policial para o Estado, cujo salário hoje é cerca de R\$ 3.500,00 no estado do Rio de Janeiro. Definiu-se então que ele vale 0,5 do valor da via da dispersão, ou seja, sendo o valor da exposição 0,10, o valor de apenas um policial é 0,05.

Probabilidade de sucesso de ataque

Calculou-se a probabilidade relacionada com cada valor de defesa e alvo pré-definido, mantendo-se o ataque constante, para que pudesse ser observada a influência dos valores de defesa e de alvo na probabilidade de sucesso de ataque, levando-se em consideração uma via de exposição.

Perda esperada

A perda esperada é a perda efetiva que o alvo pode ter de acordo com o ataque. Ela pode ser calculada de acordo com a equação da perda esperada.

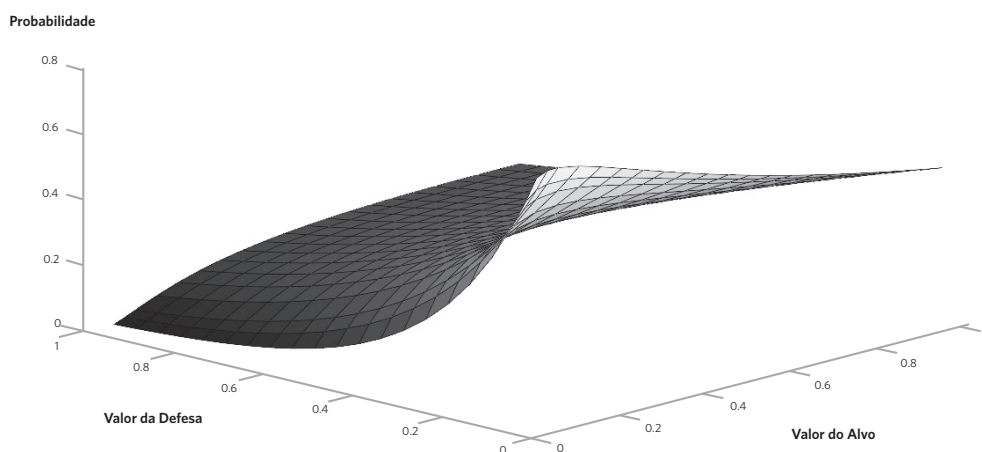
Resultados e discussão

Os resultados foram obtidos com base nas equações e postulados do artigo 'Advanced Techniques for Modeling Terrorism Risk', de John A. Major²⁵, Vice-Presidente Sênior da Guy Carpenter & Company, Inc.

Probabilidade de sucesso de ataque

Os resultados da equação de Major²⁵ para o cálculo da probabilidade de sucesso do ataque com dispersão de aerossóis contendo ricina como agente de arma química, estão apresentados no *gráfico 2*.

Gráfico 2. Gráfico 3D para probabilidade em casos de ataque com ricina via aerossol



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Observa-se, pelo comportamento gráfico, que a maior probabilidade de sucesso é associada aos valores de menor valor de defesa e de menor valor de alvo. Ou seja, a maior chance de sucesso de ataque ocorre quando o valor do alvo é baixo, e a defesa, também. A partir da teoria dos jogos, esse comportamento pode estar associado ao fato de que a defesa é maior nos alvos mais valiosos, deixando os menos valiosos desprotegidos. Por outro lado, se o atacante souber que o defensor está alocando seus recursos de forma otimizada, então não há como determinar a probabilidade

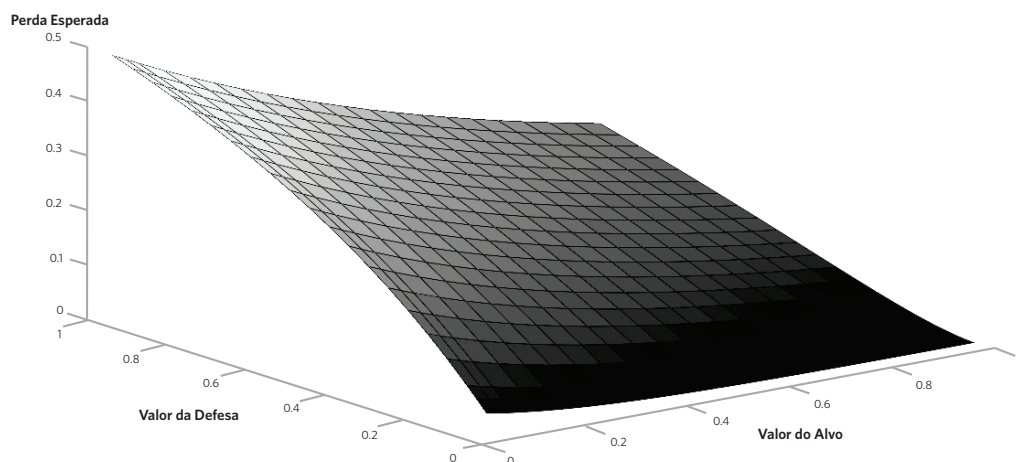
de sucesso de ataque, logo, não teria como saber qual o melhor alvo para ser atacado. No entanto, como é postulado na teoria dos jogos, o atacante não sabe qual a estratégia da defesa e vice-versa, de modo que a análise de probabilidade é fundamental para o ataque. Portanto, é necessário que haja uma escolha cautelosa de estratégia por parte da defesa, de modo a buscar maior perda para o atacante. Esse equilíbrio é chamado de equilíbrio de perda esperada. Assim, além de se analisar as probabilidades de ataque, deve-se também analisar a perda esperada, que é a quantidade

de dano que será sofrida pelo alvo no caso de um ataque com as condições pré-definidas. O atacante deverá escolher o alvo de modo que a perda esperada escolhida supere o equilíbrio de perda esperada.

Perda esperada

Por meio da equação da perda esperada, calculou-se a perda associada a cada valor de alvo e defesa pré-definidos em um ataque com dispersão de aerossóis contendo ricina (*gráfico 3*).

Gráfico 3. Gráfico 3D para perda esperada em casos de ataque com ricina via aerossol



Fonte: Elaboração própria, 2018.

Para a construção dessa malha, considerou-se um valor de recurso de ataque igual a 1. Observa-se que a perda esperada é maior quando se tem um maior recurso de defesa, e é menor com o recurso de defesa é baixo. Também se pode constatar que a perda esperada é maior em valores de alvo menores, mesmo que esse efeito não seja tão pronunciado.

Faz sentido que a perda esperada seja maior no alvo de menor valor e com a maior defesa. Os alvos que agregam valores baixos são, em geral, aqueles que apresentam maior fragilidade e sistemas de segurança baixos. Quando recursos altos de defesa são alocados nesse local, naturalmente será o ponto em que terá a maior perda, pois a defesa sofrerá o maior dano. Além disso, sabe-se

que os ataques ganham maior probabilidade de sucesso nos alvos mais baratos, então estes são os que possuem a maior chance de serem atacados. Por isso agregam a maior perda esperada.

A variação da perda esperada é chamada por Major²⁵ de equilíbrio de perda esperada. Esse equilíbrio mostra que, se o recurso de ataque é baixo, então é melhor que o alvo seja de baixo valor também, pois as perdas esperadas associadas aos alvos de maiores valores são menores do que a perdas esperadas associadas aos alvos de maiores valores, aumentando assim o dano.

De acordo com a teoria dos jogos, as opções de estratégia do atacante são as escolhas de alvos e a atribuição de recursos de ataque a

eles, até N alvos; ou seja, o atacante define seus alvos e define seu modo de ataque e essas são as suas jogadas. Já a estratégia da defesa é escolher, simultaneamente, a atribuição de recursos para os N alvos. Dessa forma, a escolha da perda esperada que gere o menor dano pode ser feita, nos casos expostos neste trabalho, analisando-se os resultados.

Deve-se preparar a equipe contraterrorista e investir os recursos com base na maior perda esperada obtida. Não sabendo como o atacante vai escolher os alvos, o defensor escolhe a estratégia que resulte na pior perda esperada, independentemente da escolha do alvo por parte do atacante. A simulação deve ser feita assumindo o valor de recurso de ataque, para que a alocação de recurso de defesa seja efetiva em diminuir a perda esperada.

Algumas vezes, é mais vantajoso deixar os alvos menos valiosos indefesos e investir na defesa dos alvos mais valiosos, pois a perda esperada de um alvo menos valioso, mesmo que a probabilidade de sucesso de ataque seja de 100%, será menor do que a perda esperada dos recursos de defesa nos alvos valiosos. Dessa forma, ao escolher a estratégia utilizada pela defesa, deve-se tentar fazer uma equalização das perdas esperadas em todos os alvos, minimizando os efeitos de um ataque.

Considerações finais

Este artigo demonstra a necessidade do desenvolvimento de estudos dessa natureza, considerando sua relevância não apenas como tema de reflexão acadêmica, mas também com transbordamento para o cotidiano do treinamento e preparo das Forças de Segurança.

O modelo proposto por Major leva em consideração três variáveis, o que faz com que seja uma boa simulação. No entanto, o próprio autor diz que esse modelo leva em consideração a previsão do comportamento humano, o que em realidade é de difícil precisão. Ao considerar um exercício em que um dos atores é uma célula terrorista, o nível de imprevisibilidade, como vimos, aumenta

exponencialmente. Todavia, como este trabalho mostra, consegue-se retratar bem os conceitos de teoria dos jogos com a racionalidade em cima de atos terroristas, por meio da inteligência artificial. Para a aplicação desse sistema, valores foram atribuídos para os recursos de ataque, defesa e valores de alvo de forma empírica, mediante ponderações. A maior dificuldade permaneceu na definição dos valores para os alvos, o que convida à realização de estudos mais aprimorados necessários para melhorar a ponderação dos valores.

Este trabalho chama atenção para o tema terrorismo, de extrema importância para um país às vésperas de sediar mais um evento de grande visibilidade internacional. Ainda, considerou-se que, apesar do perfil não conflitivo do Brasil no cenário internacional, o contexto de um grande evento, associado à relativa simplicidade da extração de ricina e sua abundância em território nacional, exorta análise sobre o risco de sucesso de um ataque terrorista usando este agente químico. Aqui propôs-se para o cálculo da probabilidade de risco uma combinação entre a teoria dos jogos e o modelo de Major. Ainda que reconhecendo as limitações de toda escolha metodológica, cumpre-se com a tarefa de suscitar o debate relevante não apenas para o exercício acadêmico, mas principalmente para a preparação das Forças de Saúde e Segurança no Brasil.

Dada a complexidade do tema e as limitações, este estudo não esgota o assunto ou apresenta modelos fechados, e, sim, oferece caminhos analíticos possíveis e que convidam à continuação de pesquisas para o seu refinamento. Trata-se, portanto, de contribuir para um debate em construção.

Colaboradores

Raffagnato CG (0000-0001-7426-3864)*, Cardoso TAO (0000-0002-5430-7273)*, Fontes FV (0000-0001-6791-5270)*, Carpes MM (0000-0002-7581-2973)*, Cohen SC (0000-0001-6228-6583)* e Calçada LA (0000-0001-6018-9800)* contribuíram igualmente para a elaboração do manuscrito. ■

*Orcid (Open Researcher and Contributor ID).

Referências

1. Ganor B. *Global Alert: The Rationality of Modern Islamist Terrorism and the Challenge to the Liberal Democratic World*. New York: Columbia University Press; 2019.
2. Schmid A. Terrorism: The Definitional Problem. *J Internat Law*. 2004; 36(2):375-419.
3. Prabha K. Defining terrorism. *Strategic Analysis*. 2000; 24(1):125-35.
4. Estados Unidos da América. Resolução nº 1.378. S/RES/1373 [internet]. Washington, DC: Security Council; 28 Set 2001. [acesso em 2018 dez 2]. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/557/43/PDF/N0155743.pdf>.
5. Estados Unidos da América. Resolução nº 1.540. S/RES/1540. Washington, DC. Security Council. 28 Abr 2004. [acesso em 2018 dez 2]. Disponível em: [https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20\(2004\)](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20(2004)).
6. Global Terrorism Database [internet]. Baltimore: University of Maryland; 2001 [acesso em 2018 nov 30]. Disponível em: <https://www.start.umd.edu/gtd/search/>.
7. Cardoso TAO, Vieira DN. *Bacillus anthracis* como ameaça terrorista. *Saúde debate*. 2015; 40(107):1138-48.
8. Brasil. Decreto Legislativo nº 373, de 25 de setembro de 2013. Aprova a Política Nacional de Defesa. *Diário Oficial da União*. 26 Set 2013.
9. Parnell GS, Burk RC, Merrick JRW. Intelligent Adversary Modeling of Homeland Security Networks. In: 63º Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers; 2013 May18-22; San Juan, Puerto Rico. New York: Curran Associates; 2013. p. 2038-47.
10. Pita R, Ishimatsu S, Robles R. Actuación sanitaria en atentados terroristas con agentes químicos de guerra: más de diez años después de los atentados con sarín en Japón (1ª parte). *Emergencias* 2007; 19:323-36.
11. Audi J, Belson M, Patel M, et al. Ricin poisoning: a comprehensive review. *Journal Am. Medical Assoc*. 2005; 294(18):2342-51.
12. Musshoff F, Madea B. Ricin poisoning and forensic toxicology. *Drug Test Anal*. 2009; 1(4):184-91.
13. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on ricin (from *Ricinus communis*) as undesirable substances in animal feed. *The EFSA Journal*. 2008; 726(1):1-38.
14. Severino LS. *O que sabemos sobre a torta de mamona*. Campina Grande: Embrapa; 2005.
15. Centers for Disease Control And Prevention. *Emergency Preparedness and Response. Bioterrorism Agents/Diseases*; 2018. Atlanta: CDC; 2018. [acesso em 2018 ago 10]. Disponível em: <https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp>.
16. Centers for Disease Control And Prevention. *The National Institute for Occupational Safety and Health. Emergency Response Safety and Health Database. RICIN: Biotoxin*; 2011. Atlanta: CDC; 2011. [acesso em 2018 ago 10]. Disponível em: https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/emergencyresponsecard_29750002.html
17. Fonseca NBS, Blanco BS. Toxicidade da ricina presente nas sementes de mamona. *Semina: Ciênc. Agrárias* 2014; 35(3):1415-24.
18. Sousa RB, Oliveira SEM, Santos MC, et al. Ricina e a Convenção para Proibição de Armas Químicas no Brasil. *Virtual Quím*. 2014; 6(3):744-60.
19. Garland T, Bailey EM. Toxins of concern to animals and people. *Rev Sci Tech* 2006; 25(1):341-51.
20. Sturm MB, Schramm VL. Detecting ricin: sensitive

- luminescent assay for ricin Achain ribosome depurination kinetics. *Anal Chem* 2009; 81(8):2847-53.
21. Sehgal P, Khan M, Kumar O, et al. Purification, characterization and toxicity profile of ricin isoforms from castor beans. *Food Chem Toxicol* 2010; 48(11): 3171-6.
 22. Godoy MG, Fernandes KV, Gutarra MLE, et al. Use of VERO cell line to verify the biotransformation efficiency of castor bean waste. *Process Biochemistry* 2012; 47(4):578-84.
 23. Spivak L, Hendrickson RG. Ricin. *Critical Care Clinics*. 2005; 21(4):815-24.
 24. Mackinnon PJ, Alderton MR. An investigation of the degradation of the plant toxin, ricin, by sodium hypochlorite. *Toxicon* 2000; 38(2):287-91.
 25. Major JA. Advanced Techniques for Modeling Terrorism Risk. *J Risk Finance* 2002; 4(1):15-24.
 26. Sartini BA, Garbugio G, Bortolossi HJ, et al. Uma Introdução a Teoria dos Jogos. In: *Anais da II Biental da Sociedade Brasileira de Matemática*; 2004 Out 25-29; Salvador. Salvador: UFBA; 2004. p. 18-36.
 27. Silva KC, Inácio TVP, Blum GG. Teoria dos Jogos: uma análise da aliança Isis-Boko Haram. *Geograph. Opportuno Temp*. 2017; 3(1):116-23.
 28. Fricker RDJ. Game Theory in an Age of Terrorism: How Can Statisticians Contribute? In: Wilson AG, Wilson GD, Olwell DH, editors. *Statistical Methods in Counterterrorism. Game theory, modeling, syndromic surveillance and biometric authentication*. New York: Springer; 2018. p. 3-7.
 29. Woo G. Insuring Against Al-Qaeda. In: *Insurance Project Workshop*; 2003. Cambridge: National Bureau of Economic Research; 2003. Massachusetts. 2003. p. 1-14. [acesso em 2018 ago 10]. Disponível em: <http://www.nber.org/~confer/2003/insurance03/woo.pdf>.

Recebido em 01/05/2019
Aprovado em 14/08/2019
Conflito de interesses: inexistente
Suporte financeiro: não houve