

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS

**AVALIAÇÃO DE RISCOS: EMPREGO DA TÉCNICA PELO SERVIÇO  
VETERINÁRIO OFICIAL E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO PARA A  
FEBRE AFTOSA NO RIO GRANDE DO SUL**

DIEGO VIALI DOS SANTOS

Porto Alegre

2016

DIEGO VIALI DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE RISCOS: EMPREGO DA TÉCNICA PELO SERVIÇO  
VETERINÁRIO OFICIAL E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO PARA A  
FEBRE AFTOSA NO RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências Veterinárias na área de Medicina Veterinária Preventiva, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo Corbellini

Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Wageck Canal

Porto Alegre

2016

#### CIP - Catalogação na Publicação

Santos, Diego Viali dos  
AVALIAÇÃO DE RISCOS: EMPREGO DA TÉCNICA PELO  
SERVIÇO VETERINÁRIO OFICIAL E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS  
DE RISCO PARA A FEBRE AFTOSA NO RIO GRANDE DO SUL /  
Diego Viali dos Santos. -- 2016.  
117 f.

Orientador: Luis Gustavo Corbellini.  
Coorientador: Cláudio Wageck Canal.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Veterinária, Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Porto Alegre,  
BR-RS, 2016.

1. Saúde animal. 2. Epidemiologia veterinária. 3.  
Análise de risco. 4. Múltiplos critérios. 5. Febre  
aftosa. I. Corbellini, Luis Gustavo, orient. II.  
Canal, Cláudio Wageck, coorient. III. Título.

DIEGO VIALI DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE RISCOS: EMPREGO DA TÉCNICA PELO SERVIÇO  
VETERINÁRIO OFICIAL E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO PARA A  
FEBRE AFTOSA NO RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências Veterinárias na área de Medicina Veterinária Preventiva, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovada em 15 de abril de 2016.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Luis Gustavo Corbellini (UFRGS – Orientador)

---

Profa. Dra. Débora da Cruz Payão Pellegrini (Unipampa)

---

Prof. Dr. Eliseu José Weber (ULBRA)

---

Prof. Dr. Fernando Ferreira (USP)

*Dedico este trabalho aos meus pais, Juessi e Marlene, que não mediram esforços para me prover uma educação de qualidade.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que me acolheu durante 12 anos e me deu a oportunidade de cursar graduação, mestrado e doutorado numa universidade pública, gratuita e de extrema qualidade. Em consequência, agradeço à sociedade, responsável por manter uma instituição deste gabarito de forma autônoma e independente.

À Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação do Estado do Rio Grande do Sul, em especial aos ex-diretores do Departamento de Defesa Agropecuária, Claudio Dagoberto Lucas Bueno e Eraldo José Leão Marques, por respaldarem este estudo e darem o suporte administrativo necessário para a sua realização. Agradeço ainda aos colegas e amigos da Seção de Epidemiologia e Estatística, Elenice Helena Domingues, Ana Carla Martins Vidor e Marcelo Cadore, responsáveis por suportar a demanda de trabalho, enquanto eu me dedicava à realização desta pesquisa. Além disso, agradeço aos mais de 1.500 colegas dessa respeitável instituição, espalhados por todo o estado, os quais são os principais responsáveis por prover os dados que foram a matéria-prima essencial deste trabalho.

Ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em especial aos amigos do Laboratório de Diagnóstico das Doenças dos Animais do Laboratório Nacional Agropecuário no Rio Grande do Sul, Ana Elisa Ferreira, Andrei Neves, Fábio de Lima, Felipe Sorgetz, João Marcus Costa, José Alberto Ravison, José Carlos Borba, Marco Antonio Serqueira e Soraya Marredo, pelo apoio na conclusão desse trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Epidemiologia Veterinária. Todos, dos alunos de iniciação científica aos de pós-doutorado, de alguma forma, compartilharam seus conhecimentos que foram extremamente importantes para minha formação e aprendizado durante o período do doutorado.

Aos professores do Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia, Eliseu José Weber e Heinrich Hasenack, pela essencial ajuda neste trabalho, a qual foi determinante para o resultado alcançado.

Ao meu coorientador, professor Cláudio Wageck Canal, pelo conhecimento na área de virologia e pelo seu rotineiro bom-humor, tornando o ambiente de trabalho mais prazeroso e amigável.

Ao meu orientador e amigo, professor Luis Gustavo Corbellini, por ter aceito esse grande desafio e ter demonstrado que, além de um grande epidemiologista e orientador, é uma pessoa extremamente transparente e correta.

Ao amigo André Mendes Ribeiro Corrêa, principal incentivador para meu ingresso no doutorado.

Aos amigos do Grupo de Trabalho deste projeto, Antônio Augusto Rosa Medeiros, Bernardo Todeschini, Fernando Henrique Sauter Groff, Gustavo de Sousa e Silva e Mauro Riegert Borba, pelas discussões, trocas de ideias e descobertas resultantes deste estudo. Foram quatro anos de intenso trabalho em conjunto que, além do resultado, criaram um elo de amizade e parceria.

Finalmente, agradeço à minha família pela compreensão da minha reiterada ausência nos eventos familiares, a fim de me dedicar ao doutorado. Aos meus irmãos, Rodrigo e Juliano, eternamente incentivadores dos meus estudos, meu muito obrigado, e à Nifertiti, serei eternamente grato pela ajuda, pelo amor e pela paciência neste último ano.

*“Não há diferenças fundamentais entre o homem e os animais nas suas faculdades mentais [...] os animais, como os homens, demonstram sentir prazer, dor, felicidade e sofrimento.”*

**Charles Robert Darwin**



## RESUMO

O serviço veterinário oficial é responsável por proteger a saúde pública e animal. Uma ferramenta que auxilia na busca desse objetivo é a análise de risco, que começou a ser utilizada na década de 1990 pelos serviços veterinários oficiais. Para a realização de uma análise de risco, inicialmente deve-se identificar o perigo, o qual na área da saúde animal, geralmente, é o agente patogênico causador de uma doença. A etapa subsequente é a avaliação de riscos, na qual devem ser ponderadas, com suporte de técnicas específicas, as formas de ocorrência do perigo, bem como a magnitude de suas consequências. Entre as técnicas utilizadas nessa etapa, a análise de decisão por múltiplos critérios tem tido um crescente uso. Essa metodologia consegue associar e analisar, conjuntamente, diversas variáveis e, quando integrada ao sistema de informação geográfica, incorpora a dimensão espacial, tornando a ferramenta mais potente. A terceira etapa da análise de risco refere-se ao manejo dos riscos, que visa a propor medidas que mitiguem o risco, bem como avaliar o custo/benefício de cada medida. A última fase é a comunicação dos riscos, que deve ser iniciada juntamente com a análise de risco em si, deixando aberto um canal permanente de comunicação com todos os atores sociais interessados no estudo. O presente trabalho, inicialmente, realizou uma revisão da literatura sobre análise de risco, objetivando expor sua definição e processo de elaboração, assim como verificar como ela está sendo utilizada, quais são as limitações e os desafios do uso dessa ferramenta pelo serviço veterinário oficial brasileiro. Posteriormente, realizou-se uma avaliação de riscos para determinar as áreas de risco para a ocorrência de febre aftosa no Rio Grande do Sul e, ainda, avaliar o desempenho do sistema de vigilância estadual para essa enfermidade. Como resultado, verificou-se que os desafios para o desenvolvimento de uma análise de risco pelo serviço veterinário oficial brasileiro ainda são grandes, destacando-se aqueles relacionados à falta de dados e de pessoal capacitado, o que, por sua vez, pode estar relacionado com a realização de poucas análises de risco no Brasil. Na avaliação de riscos realizada pela técnica de múltiplos critérios, identificou-se que as regiões de fronteira internacional, além da região de Estrela, foram aquelas que apresentaram as áreas de maior risco de ocorrência da febre aftosa no estado do Rio Grande do Sul. As variáveis “proximidade da fronteira internacional”, “densidade de ruminantes” e “densidade de propriedades com suínos de subsistência” foram as que mais influenciaram no modelo. A “presença da unidade veterinária local no município” e a “quantidade de notificações de suspeita de enfermidade animal” foram as variáveis de maior relevância no indicador criado para avaliar o desempenho do sistema de vigilância. As regiões sudeste e sudoeste apresentaram os melhores desempenhos quando comparados com outras regiões do estado. A avaliação de riscos tornou-se um importante instrumento utilizado pelos gestores dos serviços veterinários oficiais na tomada de decisões, contribuindo para a escolha de alternativas que confirmam, cientificamente, o menor risco sanitário. Com base neste estudo, os gestores gaúchos poderão escolher as ações sanitárias específicas para cada região do Rio Grande do Sul, servindo, portanto, como uma ferramenta de auxílio, a fim de mitigar o risco de ocorrência da febre aftosa.

**Palavras-chave:** Saúde animal. Análise de risco. Múltiplos critérios. Epidemiologia. Febre aftosa.

## ABSTRACT

*As the main responsibility of the Official Veterinary Service is protecting animal and public health, an important tool to achieve this goals is the risk analysis, which began to be used in the 1990s. In order to conduct a risk analysis, it is initially necessary to identify the hazard, which in animal health is generally the pathogen causing a disease. The next step is risk assessment, which consists in evaluating different forms where hazard occurs as well as the magnitude of its consequences. Among various techniques that could be employed in this stage, the multiple criteria decision analysis has been increasingly used nowadays. This methodology associates and analyses jointly many variables and, when integrated with geographic information system, incorporates the spatial dimension, making it a powerful tool. The third risk analysis step refers to risk management, which aims to propose measures to mitigate the risk and assess costs and benefits of each measure. The communication of the risk is the last stage. It should be initiated along with the risk analysis itself, allowing an open and permanent communication with all interested stakeholders in the study. This work commenced with a literature review of risk analysis, so as to expose its definition and development process, as well as checking how it is being used, what limitations exist and the challenges of this tool usage by the Brazilian Official Veterinary Service. Subsequently, there was conducted a risk assessment to determine the risk areas for Foot and Mouth Disease occurrence in Rio Grande do Sul and also evaluate the State performance on surveillance system for this disease. As a result, the challenges for a development of a risk analysis by the Brazilian Official Veterinary Service are still found large, especially those related to the lack of data and trained personnel, resulting in a small number of this type of studies in Brazil. In this risk assessment study it was observed that international border areas, in addition to Estrela/RS region, were the ones which presented the greatest risk of Foot and Mouth Disease occurrence. The most important variables in the model were “international border proximity”, “ruminant density” and “pig farming properties density”. The “presence of a local veterinary unit in the city” and “the amount of suspected animal disease notifications” were the most relevant variables in the indicator created to evaluate the surveillance system performance. The Southeast and Southwest mesoregions showed the best results when compared with other mesoregions of the State. The risk assessment has become an important tool utilized by Official Veterinary Service managers in decision-making, owing to its scientifically proved contribution, which results in a better sanitary risk judgment by them. Based on this study, local managers can select specific animal health actions for each Rio Grande do Sul mesoregion, providing a supportive tool in order to mitigate the risk of Foot and Mouth occurrence.*

**Key-words:** *Animal health. Risk analisys. Multiple criteria. Epidemiology. Foot and Mouth Disease.*

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Distribuição da ocorrência da febre aftosa notificados à Organização Mundial de Saúde Animal no primeiro semestre de 2015.....	23
FIGURA 2 – Situação sanitária quanto à febre aftosa dos países membros da Organização Mundial de Saúde Animal em 2015. ....	23
FIGURA 1 (ARTIGO 1) - Exemplo de aplicação de distribuição de probabilidades comumente aplicada em análise de risco quantitativa numa situação hipotética de importação de 5.000 frascos de sêmen suíno por mês.....	56
FIGURA 2 (ARTIGO 1) - Matriz para a categorização da probabilidade de ocorrência (adaptado de OIE 2006).....	57
FIGURA 3 (ARTIGO 1) - Matriz da estimação do risco (adaptado de OIE 2006).....	58
FIGURA 1 (ARTIGO 2) – Map of Rio Grande do Sul showing the seven divisions and national and international borders.....	93
FIGURA 2 (ARTIGO 2) – Likelihood of FMD introduction and dissemination Maps into Rio Grande do Sul.....	94
FIGURA 3 (ARTIGO 2) – Likelihood of FMD occurrence and Risk Residual Maps into Rio Grande do Sul.....	95
FIGURA 4 (ARTIGO 2) – Historical FMD outbreaks into Rio Grande do Sul State and high risk areas against the last outbreak into Rio Grande do Sul.....	96
FIGURA 5 (ARTIGO 2) – ROC curve on historical Rio Grande do Sul FMD outbreaks (1986-2001) and the last outbreak (2001.....	97

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 (ARTIGO 1) - Análises e avaliações de risco publicadas com temas relacionados ao serviço veterinário oficial do Brasil.....	60
TABELA 1 (ARTIGO 2) – Introduction module: Non-negligible FMD introduction pathways into Rio Grande do Sul, Brazil.....	87
TABELA 2 (ARTIGO 2) – Dissemination module: Non-negligible FMD dissemination pathways into Rio Grande do Sul, Brazil.....	88
TABELA 3 (ARTIGO 2) – Risk factors of the FMD introduction pathways into Rio Grande do Sul, Brazil.....	89
TABELA 4 (ARTIGO 2) – Risk factors of the FMD dissemination pathways into Rio Grande do Sul, Brazil.....	91
TABELA 5 (ARTIGO 2) – Rio Grande do Sul mesoregion FMD risk ranking.....	93
TABELA 1 (ARTIGO 2 – Material suplementar) – Variables used in the model to prepare raster map layers.....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCC	Associação Brasileira dos Criadores de Camarões
AR	Análise de Risco
ARI	Análise de Risco de Importação
ARM	Análise de Risco Microbiológico
BfR	<i>Bundesinstitut für Risikobewertung</i>
CAC	Comitê do Código Alimentarius
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i>
EITB	<i>Enzyme-Linked Immunoelctrotransfer blot test</i>
ELISA	<i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i>
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FSIS	<i>Food Safety and Inspection Service</i>
IICAA	Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCDA	Análise por Múltiplos Critérios
MPA	Ministério da Pesca e Aquicultura
OIE	Organização Mundial de Saúde Animal
OMC	Organização Mundial do Comércio
PRRS	Síndrome Respiratória e Reprodutiva do Suíno
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
RS	Estado do Rio Grande do Sul
RT-PCR	<i>Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPS	Acordo sobre a aplicação de medidas sanitárias e fitossanitárias
SVO	Serviço Veterinário Oficial

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1 Análise de Risco.....	15
2.2 Febre Aftosa .....	20
3 ARTIGO 1 – A ANÁLISE DE RISCO COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA O SERVIÇO VETERINÁRIO OFICIAL BRASILEIRO: DIFICULDADES E DESAFIOS.....	27
4 ARTIGO 2 – IDENTIFICATION OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE RISK AREAS USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS APPROACH .....	61
4.1 Supplementary Material.....	98
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	105
REFERÊNCIAS .....	112

## 1 INTRODUÇÃO

Os Serviços Veterinários Oficiais (SVO) dos países, em especial os sul-americanos, tiveram seu desenvolvimento e início das atividades de defesa sanitária animal devido ao combate da febre aftosa (OLASCOAGA et al., 1999).

A principal ferramenta utilizada no combate dessa importante enfermidade foi a vacinação em massa de bovinos e bubalinos. O estado do Rio Grande do Sul (RS) foi pioneiro, no Brasil, na vacinação em massa, tendo a primeira etapa de vacinação em 1964 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1964).

A partir da década de 1990, houve uma diminuição drástica no número de focos no Brasil e, conseqüentemente, alguns estados brasileiros partiram para a fase da erradicação da doença em seus territórios. O RS teve seu último foco na década de 1990, no ano de 1993 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002).

Novamente, e de forma pioneira, juntamente com o estado de Santa Catarina, o RS iniciou, no ano de 2000, o processo para a retirada da vacinação compulsória dos seus rebanhos. Tal fato ocorreu em consequência de que os mercados mais exigentes estabelecem que animais e seus produtos sejam oriundos de países ou áreas onde não exista a febre aftosa e nem a vacinação de seus animais. Assim sendo, visando a alcançar tais mercados, o RS focou na retirada da vacinação de bovinos e bubalinos contra a febre aftosa, objetivando conquistar o reconhecimento internacional de área livre de febre aftosa sem vacinação (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002).

Nesse processo, nos anos de 2000 e 2001, o RS teve o retorno da ocorrência da enfermidade, com 52 focos de febre aftosa registrados. Após a ocorrência do ano de 2001, como medida de prevenção para a difusão da doença, optou-se por retornar à vacinação sistemática e em massa de bovinos e bubalinos (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009).

Passados quase 15 anos da última ocorrência dessa enfermidade no estado, é retomada, junto aos atores envolvidos na cadeia do agronegócio gaúcho, a discussão da retirada da vacinação contra a febre aftosa. Tal ação pode abrir mercados para os produtos agropecuários gaúchos, os quais são responsáveis por cerca de um terço do Produto Interno Bruto estadual (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2014).

Juntamente com o alinhamento econômico, social e político, o posicionamento técnico é extremamente importante para a retirada da vacina contra a febre aftosa. Este posicionamento deve ser alicerçado em conhecimento científico, como por exemplo,

estudos de análise de riscos (AR), que podem servir de suporte aos gestores que serão os responsáveis pela tomada de decisão. Estudos de AR realizados pelo SVO têm sido utilizados para avaliar o potencial de ingresso de uma enfermidade e suas possíveis vias de introdução e disseminação (SANCHEZ-VISCAINO et al., 2010a, 2010b; HASLER et al., 2012), para avaliar áreas de maior vulnerabilidade para a ocorrência de uma doença (VIAL et al., 2013; ARSEVSKA et al., 2015), para estimar o risco que representa a importação de um produto específico (MILLER et al., 1993; OIE, 2006) e para avaliar o impacto de determinados pontos críticos do processo de produção na incidência de doenças transmitidas pelo alimento, contribuindo para a gestão de riscos dos processos de produção de alimentos (SCHAFFNER, 2008; POUILLOT et al., 2012).

Uma importante etapa dentro da AR é a avaliação de riscos, a qual foi amplamente difundida junto aos serviços veterinários oficiais, utilizando a técnica de matrizes de risco (OIE, 2006); atualmente, outras técnicas também vêm sendo empregadas para auxiliar os gestores na tomada de decisão. Dentre as técnicas disponíveis para avaliação de riscos, está a análise por múltiplos critérios (BELTON; STEWART, 2002), a qual tem sido utilizada na área animal para a priorização de doenças (VILAS et al., 2013; BROOKES et al., 2014a, 2014b), identificação de áreas vulneráveis (VIAL et al., 2013; ARSEVSKA et al., 2015) e, até mesmo, para a avaliação de sistema nacional de vigilância animal (EAST et al., 2013).

Os objetivos deste trabalho foram: 1) realizar uma revisão crítica sobre o tema análise de risco e seu emprego por parte do SVO brasileiro; e 2) realizar uma avaliação de riscos, utilizando a análise por múltiplos critérios (abreviatura do inglês *multi criteria decision analysis*, MCDA), para identificar as áreas de risco para a ocorrência de febre aftosa no estado do Rio Grande do Sul e avaliar o sistema de vigilância estadual a esta enfermidade animal. O estudo utilizando a MCDA busca ser uma ferramenta para auxiliar os gestores na tomada de decisão, como a retirada ou não da vacinação contra a febre aftosa, de forma mais transparente e segura.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Análise de Risco**

A AR é um método formal para identificar perigos e avaliar os riscos decorrentes desses perigos (FAO, 2011). Na área da saúde animal, disseminou-se rapidamente dentro dos SVO, em especial daqueles países importadores de animais e seus produtos, e hoje é utilizada rotineiramente para avaliação e mensuração de riscos oferecidos pela importação de produtos agropecuários e, mais recentemente, para avaliação de sistemas de vigilância (EAST et al., 2013).

Conforme a estrutura adotada pela Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) para as Análises de Risco de Importação (ARI), que é o modelo de Covello e Merkhofer, a AR é composta de quatro etapas: (i) identificação dos perigos; (ii) avaliação dos riscos; (iii) manejo dos riscos; e (iv) comunicação dos riscos.

#### **2.1.1 Identificação dos perigos**

Perigo é definido como a fonte de um dano potencial, que poderá causar um evento adverso (OIE, 2006). A identificação do perigo é o processo de identificar algum agente patogênico, físico ou químico, que poderia ser introduzido em um país ou região e que poderia trazer danos, sanitários ou econômicos à produção animal, saúde pública e ao meio ambiente (COVELLO; MERKHOHER, 1993; MILLER et al., 1993; MACDIARMID; PHARO, 2003; OIE, 2006).

#### **2.1.2 Avaliação de riscos**

O risco é composto por duas dimensões: a probabilidade da ocorrência de um evento adverso (por um determinado perigo identificado na etapa anterior) e a magnitude de suas consequências (MILLER et al., 1993; OIE, 2006). Portanto, depois de alcançada a identificação do perigo, deve ser realizada uma avaliação do risco (OIE, 2006).

Essa avaliação de risco pode ser classificada de duas formas: qualitativa ou quantitativa. No primeiro tipo de avaliação de risco, o resultado da avaliação é expresso em escalas descritivas, utilizando termos como ‘alto’, ‘médio’ ou ‘baixo’. Já na avaliação de risco quantitativa, o resultado é expresso em valores numéricos de probabilidade,

facilitando a comparação entre os perigos avaliados (MACDIARMID, 1993; MACDIARMID; PHARO, 2003; MURRAY et al., 2004; OIE, 2006).

Muitas vezes, a fim de facilitar a visualização do processo e os possíveis caminhos e probabilidades de ocorrência (ou ausência) e consequências de certas doenças animais, nessa fase, constrói-se uma árvore de cenários (RIVIÈRE et al., 2015; CHRISTENSEN; VALLIÈRES, 2016).

Diversas técnicas podem ser empregadas nessa etapa, para a avaliação dos riscos, conforme descrito a seguir.

### *2.1.2.1 Matrizes de risco*

Utilizada amplamente nas análises de risco qualitativa, e preconizada pela OIE (2006), essa forma de avaliação de riscos é bastante utilizada nas análises de risco de importação (FIGUEIREDO et al., 2012). A utilização de matrizes para determinar o risco numa AR possui suas limitações (CARR; TAH, 2001; NI et al., 2010), em especial a subjetividade e a diminuição do risco, à medida que exista um maior número de cruzamento de matrizes nos modelos qualitativos (FAO, 2011). Em modelos quantitativos ou semi-quantitativos, em especial se a probabilidade da ocorrência de um evento e a magnitude das consequências forem negativamente correlacionadas, podem ocorrer erros de avaliação de risco e, conseqüentemente, escolhas de priorização de risco errôneas. Assim, apesar de sua grande utilidade, se faz necessário o uso com parcimônia das matrizes de risco, sendo que nem sempre essa técnica é a melhor a ser utilizada na avaliação de riscos (COX JR., 2008; MARKOWSKI; MANNAN, 2008).

### *2.1.2.2 Múltiplos critérios*

A análise de decisão por múltiplos critérios (MCDA) é uma técnica simples e transparente que ajuda a estruturar o problema e consegue integrar e analisar, conjuntamente, diversos critérios ajudando os gestores na tomada de decisão (BELTON; STEWART, 2002). Integrada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), incorpora a dimensão espacial, tornando a ferramenta ainda mais potente (MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

Utilizada amplamente para o mapeamento de susceptibilidade e de aptidão de terras para diversas finalidades (BRITO, 2014), essa técnica tem sido utilizada de forma

crescente na área da veterinária, em especial para a priorização de doenças, na detecção de áreas vulneráveis para a ocorrência de enfermidades animais e, também, para avaliar sistemas de vigilância animal (BASSO AMARAL, 2013; COX et al., 2013; EAST et al., 2013; BROOKES et al., 2014a). Um exemplo desse crescente uso pode ser visualizado na Austrália, onde o Departamento de Agricultura criou um programa próprio e livre (MCAS-S) para que os usuários façam suas análises de múltiplos critérios e possam utilizar os dados de população animal, área plantada e temperatura, sendo disponibilizado pelos órgãos governamentais (MCAS-S, 2014).

A análise de múltiplos critérios envolve três grandes pilares: 1) a padronização dos valores dos dados, 2) a ponderação dos critérios e 3) a regra de combinação (MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

Sistematicamente, o primeiro passo da análise é definir o objetivo. Este pode ser um ou mais do que um, sendo que os mesmos podem ser complementares ou conflitantes. East et al. (2013), realizaram um estudo com o objetivo de identificar áreas de risco para oito diferentes enfermidades animais na Austrália. Para cada enfermidade foi realizada uma MCDA, sendo que, de forma complementar, todas as oito análises foram analisadas em conjunto para identificar as áreas de risco para as principais enfermidades animais no país. Por fim, o estudo também realizou uma MCDA para avaliar o sistema de vigilância animal no país, contrapondo essa análise, com a análise inicial realizada.

Após definido o objetivo, deve-se partir para a etapa da escolha das variáveis para fazer parte da MCDA. Nesta etapa é importante distinguir a diferença entre dado e variável. Dado é o valor bruto (numérico ou não) obtido de uma observação ou unidade experimental. Já a variável é definida como uma característica para representar um aspecto relacionado ao problema ou análise (p.ex.: distância em km do limite internacional/fronteira), a qual pode variar de um “indivíduo” para outro (CALLEGARI-JACQUES, 2003). A estruturação do problema e das alternativas, juntamente com a utilização de especialistas na área, podem auxiliar na escolha das variáveis que farão parte da análise (CAMPOS, 2011).

As diferentes variáveis utilizadas numa MCDA, muito provavelmente serão expressas em diferentes unidades de mensuração. Em um exemplo teórico, poderia ter a distância da fronteira internacional (expressa em km) e a densidade de bovinos (expressa em animal/hectare) como variáveis utilizadas numa MCDA. Para resolver o problema de analisar conjuntamente variáveis de unidades diferentes, deve-se utilizar um critério. Um critério é uma medida base para a efetiva avaliação, podendo ser um fator ou uma

restrição. Um fator é uma variável que é valorada para uma escala padronizada, por exemplo, entre 0 e 1, onde o maior valor é 1 e todos os demais padronizados tendo esse como parâmetro, de acordo com uma função ou regra que traduz como a variável atua para o objetivo em questão (p. ex.: risco diminui com o aumento da distância da fronteira internacional ou o risco diminui com a diminuição da densidade de bovinos). Uma restrição representa uma barreira absoluta para o problema em questão (p. ex.: considerar apenas uma região ou mesmo uma barreira ambiental, como regiões de mata/floresta a valoração é nula ou zero). Portanto nessa fase, tem-se a padronização dos valores dos dados de cada variável (CAMPOS, 2011; MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

Posteriormente, de forma eletiva, os critérios podem ser ponderados, caso tenham importância diferenciada na análise que está se realizando (BELTON; STEWART, 2002). Há diversas técnicas para realizar essa ponderação dos critérios, como o Processo Hierárquico Analítico (SAATY, 1977), o qual pode utilizar a opinião de especialistas na área da análise para realizar a valoração relativa dos critérios do modelo. Esta etapa busca dar um melhor ajuste ao modelo, o qual pode ser analisado ao final com técnicas de análise de sensibilidade e incerteza (COX et al., 2012; EAST et al., 2013). Por outro lado, por depender dessa ponderação dos especialistas, há desvantagens nesse método, desde como definir o que é um ‘especialista’, passando pela variabilidade nas respostas dos mesmos. Além disso, em áreas específicas, a falta ou o pequeno número de especialistas no assunto pode dificultar ou até mesmo inviabilizar a utilização dessa técnica (MORGAN, 2014).

A última etapa da MCDA está relacionada com a regra de combinação dos critérios. Após a padronização e ponderação dos mesmos, deve-se optar qual a melhor forma de integrá-los. Há na literatura alguns métodos descritos como ELECTRE I, II, III e PROMETHEE (BELTON; STEWART, 2002). A criação de um método próprio de combinação de critérios da MCDA é outra opção para a combinação e tem sido utilizada em estudos na área da veterinária (EAST et al., 2013).

### *2.1.2.3 Outras técnicas*

Outras técnicas têm sido empregadas na etapa de avaliação de riscos. Por exemplo, na área de priorização de doenças e avaliação de sistema de vigilância animal, a utilização direta e única da opinião de especialistas tem sido relatada (GARABED et al., 2009;

ZANG et al., 2012; MORGAN, 2014; CILIBERTI et al., 2015; WIELAND et al., 2015), assim como a técnica da construção da árvore de falhas (ISODA et al., 2013). Outras técnicas, adaptadas da área da engenharia, também podem ser empregadas para a priorização de doenças ou avaliação de sistemas de vigilância animal. Um exemplo dessa prática é o uso da técnica do *Risk Priority Number (RPN)*, a qual é utilizada desde a década de 1950 na indústria para ranquear as possíveis falhas na produção industrial. Essa é uma metodologia de priorização de risco (BAS, 2011; XIAO, 2011) que também possui limitações (WHEELER, 2013), mas pode ser utilizada para categorizar em ordem de importância as possíveis formas de ingresso ou disseminação de um perigo. Esse método, adaptado, é baseado em três itens (ocorrência, falha e consequências) e, de forma transparente e clara, pode ser um método mais rápido e simples de executar quando comparado com outras técnicas de avaliação de riscos (SANTOS et al., dados não publicados).

### **2.1.3 Manejo do risco**

Processo de identificar, avaliar, selecionar e implantar medidas para mitigar os riscos avaliados (BIER; MOSLEH, 1990; MACDIARMID; PHARO, 2003; CAMPBELL, 2008).

Nessa fase, podem-se utilizar Análises de Custo-Benefício (ACB) de cada medida que poderia ser tomada, a fim de avaliar a mais eficiente (GOHIN et al., 2013). Nogueira et al. (2010) realizaram uma ACB que avaliou a retirada da vacinação e a ocorrência de um foco de febre aftosa no estado do Paraná. Esse estudo mostrou que a retirada da vacinação poderia gerar uma receita extra de até 5,15 bilhões de reais em 20 anos e a ocorrência de um foco teria um custo aproximado de 2,6 bilhões de reais. Outras análises, como estudos de risco/benefício e análises que levam em conta toda a cadeia envolvida na possível tomada de medidas mitigatórias de risco, assim como os mercados relacionados, também podem ser realizadas nessa etapa (FAO, 2011).

Esses estudos, complementares àqueles realizados na etapa de avaliação de riscos, também servem de suporte aos gestores na tomada de decisão, em especial, na escolha da melhor alternativa para mitigar o risco avaliado (NOGUEIRA et al., 2010).

### **2.1.4 Comunicação do risco**

É a parte da AR que assegura a transparência mediante o estabelecimento de canais de comunicação com todos os atores envolvidos no processo (OIE, 2006). Deve fazer parte do processo desde o início da AR e ocorrer ao longo de seu desenvolvimento, sendo assim um processo horizontal. A comunicação trata de informar as partes potencialmente afetadas e interessadas na AR quanto ao seu desenvolvimento e consequências. Geralmente, a atenção dada à comunicação do risco é a que mais influencia no sucesso da avaliação do risco, bem como na determinação e aceitação da estratégia de manejo do risco mais apropriada (MACDIARMID; PHARO, 2003). Assim, é muito importante que se estabeleça uma estratégia de comunicação com o objetivo de assegurar que todos os setores envolvidos participem e estejam informados do processo de tomada de decisões (OIE, 2006; FAO, 2011).

## **2.2Febre Aftosa**

A febre aftosa é uma doença viral altamente contagiosa que afeta principalmente os animais biungulados. Possui alta morbidade e baixa mortalidade e letalidade. Nos animais jovens, pode ocasionar alta mortalidade (OLASCOAGA et al., 1999; GRUBMAN; BAXT, 2004).

Sua principal consequência é econômica, já que essa doença é um dos principais entraves ao comércio internacional de animais e seus produtos. Regiões acometidas por focos da enfermidade normalmente sofrem embargos sanitários e bloqueios por parte dos parceiros comerciais, além de seu controle e erradicação exigirem recursos significativos para as atividades a campo (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013; OIE, 2016a).

Carpenter et al. (2011) realizaram um estudo de impacto econômico e demonstraram que um foco dessa enfermidade em regiões livres pode ter um custo acima de 60 bilhões de dólares. Outro trabalho sugere, ainda, que as perdas e custos anuais com a diminuição da produção e com a vacinação contra a febre aftosa em regiões endêmicas possuem um custo entre 6,5 a 21 bilhões de dólares (KNIGHT-JONES; RUSHTON, 2013). No Rio Grande do Sul, nos últimos focos ocorridos nos anos de 2000 e 2001, houve aproximadamente 28 mil animais sacrificados, quatro mil propriedades interditadas e um custo direto, apenas para a execução das atividades, de US\$ 25 milhões (PITTA PINHEIRO, 2000; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002; GÖCKS, 2012).

### 2.2.1 Etiologia

A febre aftosa é uma doença altamente contagiosa, provocada por um vírus RNA da família *Picornaviridae*, gênero *Aphthovirus*, com sete sorotipos (O, A, C, SAT1, SAT2, SAT3 e ASIA1), apresentando grande diversidade antigênica. Cada sorotipo possui numerosos subtipos, sendo que entre os sorotipos não há imunidade cruzada (OLASCOAGA et al., 1999; GRUBMAN; BAXT, 2004; OIE, 2016a).

O sorotipo mais difundido mundialmente é o sorotipo O, o qual foi identificado também nos últimos focos registrados no Brasil em 2005/2006 nos estados do Paraná e do Mato Grosso do Sul (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009; OIE, 2016b). Na América do Sul, houve a identificação de apenas três sorotipos do vírus da febre aftosa (A, O e C) nos focos relatados (OLASCOAGA et al., 1999; GRUBMAN; BAXT, 2004; OIE, 2016b), sendo que os provocados pelo vírus tipo C têm diminuído enormemente, não sendo mais registrado desde 2004 (VALARCHER et al., 2008; BRITO et al., 2015; FAO, 2015). Em nível estadual, os últimos eventos sanitários de febre aftosa foram causados pelos sorotipos O (ano 2000) e A (ano 2001) (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2002).

### 2.2.2 Espécies afetadas

Mais de 100 espécies de animais domésticos, silvestres ou de laboratório podem se infectar com o vírus da febre aftosa natural ou artificialmente. Todas as espécies biunguladas domésticas ou selvagens (ordem *Artiodactyla*) são suscetíveis ao vírus. Entretanto é considerada como uma infecção natural apenas de bovinos, ovinos, bubalinos, caprinos, suínos, bisões, javalis, camelos, lhamas, alpacas, vicunhas, guanacos, antílopes e cervos. Ainda, há algumas espécies de animais não biungulados que são suscetíveis, como ouriços, tatus, capivaras, cangurus, nutrias, ratos e camundongos. Já foram relatadas infecções em elefantes africanos e asiáticos em jardins zoológicos, contudo os elefantes africanos não são considerados suscetíveis em condições naturais (OLASCOAGA et al., 1999; OIE, 2016a). Apesar de ser considerada uma zoonose menor, a ocorrência da febre aftosa em humanos é rara, sendo o homem considerado um hospedeiro acidental. A maior parte dos casos humanos registrados foi em trabalhadores

que manipulavam o vírus em laboratório ou que trabalhavam na ordenha de vacas (OLASCOAGA et al., 1999).

É importante ressaltar que, com exceção do búfalo africano, animais de vida selvagem não demonstraram capacidade de serem reservatórios do vírus da febre aftosa, sendo que geralmente são infectados por contato com animais domésticos (OLASCOAGA et al., 1999; CARON et al., 2013). Na maioria dos continentes, a espécie bovina é o principal reservatório do vírus. Na África, o búfalo africano, juntamente com o bovino também é um importante reservatório para os sorotipos SAT (OIE, 2016a; OIE, 2016b).

### 2.2.3 Distribuição geográfica

Em parte da Ásia e da África, a febre aftosa é endêmica. América do Norte, Nova Zelândia, Austrália, Islândia e grande parte da Europa são livres da doença (OIE, 2016a, 2016b). Na América do Sul, desde 2012 não existe relato de foco da doença na região (FAO, 2015; BRITO et al., 2015). Na **Figura 1** e **Figura 2** é possível observar a ocorrência e a situação sanitária, em nível mundial, da febre aftosa no primeiro semestre do ano de 2015.

Conforme os registros dos focos reportados à OIE (2016b), os SVO conseguem determinar a provável origem dessa enfermidade em apenas 10% das ocorrências. Conforme Valarcher et al. (2008), isso se deve, em grande parte, ao trânsito ilegal de animais e produtos e/ou à perda de dados epidemiológicos e de vigilância devido às condições precárias de muitos serviços veterinários de países em desenvolvimento. Ainda segundo o mesmo autor, as regiões fronteiriças, pela diferença no preço do animal e de seus produtos, são bastante vulneráveis a esse trânsito ilegal e, conseqüentemente, uma importante rota para a introdução do vírus (LIN et al., 2009; WIELAND et al., 2015).



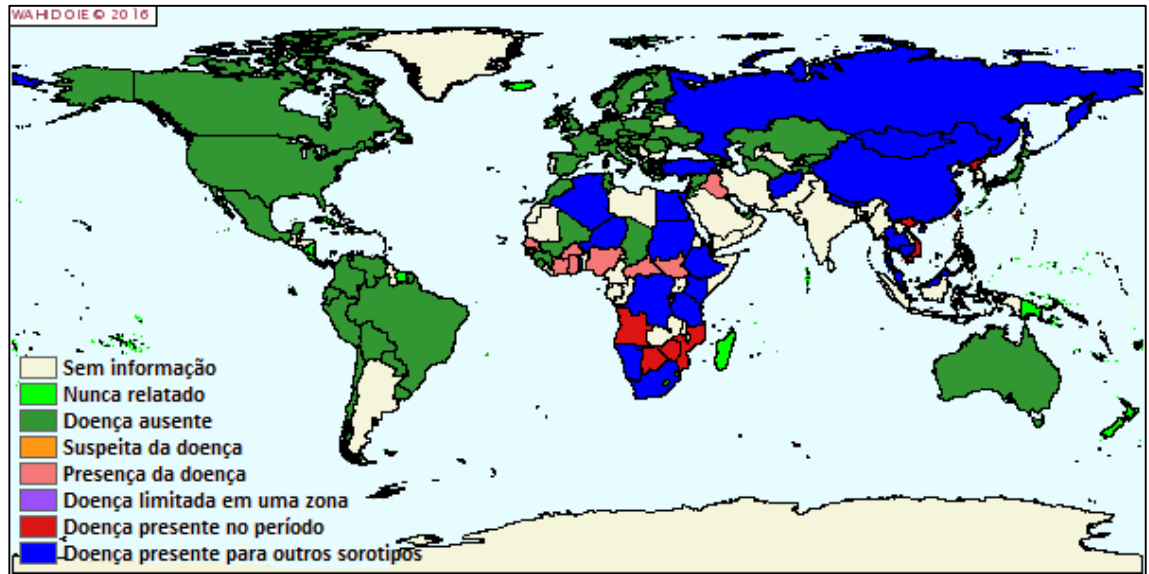


Figura 1 – Distribuição mundial da ocorrência da febre aftosa no primeiro semestre de 2015. Fonte: OIE (adaptado)

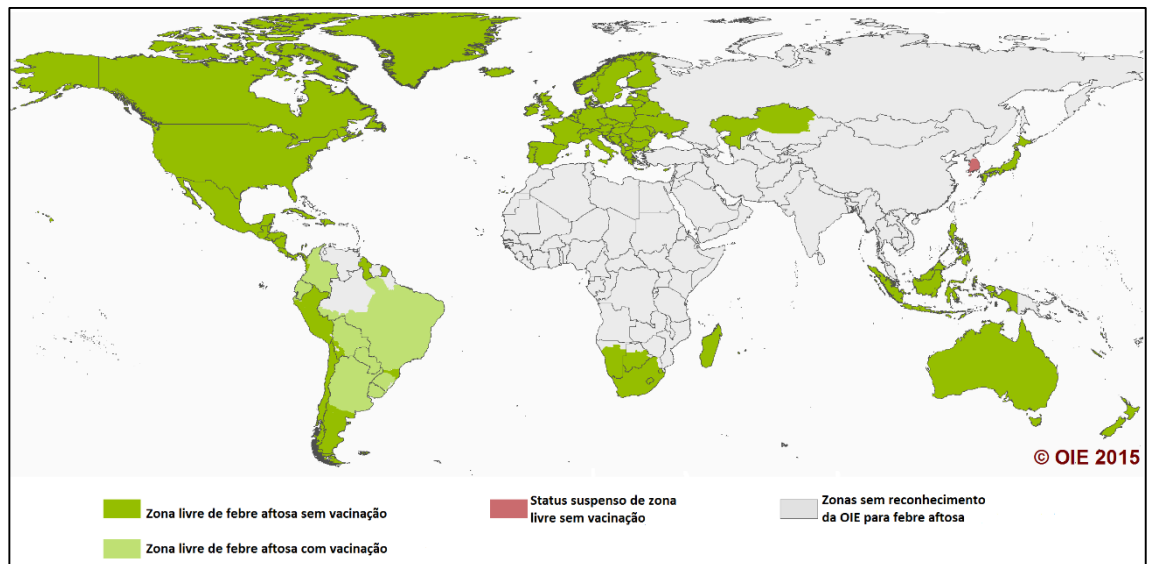


Figura 2 – Situação sanitária quanto à febre aftosa dos países membros da Organização Mundial de Saúde Animal em 2015. Fonte: OIE (adaptado)

#### 2.2.4 Transmissão

Nos bovinos, ovinos e caprinos, o modo mais comum de infecção é pelas vias respiratórias superiores, através da inalação de aerossóis. O contato entre os animais, através da movimentação de animais infectados, tem sido considerado a mais importante rota de disseminação do vírus da febre aftosa (EMAMI et al., 2015; WIELAND et al., 2015). A via de transmissão aérea, por longas distâncias, necessita de diversas condições

ambientais favoráveis, sendo bastante improvável; entretanto pode contribuir para a transmissão denominada local, ou seja, entre pequenas distâncias, como piquetes ou baias.

Saliva, fezes, leite (SCHIJVEN et al., 2005), muco vaginal, uretral e sêmen podem conter grandes quantidades de vírus e constituem fontes de infecção importantes (RUEDA et al., 2015). Nos bovinos, a quantidade de vírus é maior nas vesículas (líquido vesicular), sangue, epitélio, leite e materiais fecais. A via digestiva é uma via de transmissão não tão comum e pode ocorrer quando da ingestão de alimento contaminado. Outras vias, como a conjuntiva e todos os orifícios naturais, também devem ser consideradas. A via sexual pode ocorrer ocasionalmente. A transmissão mecânica, por inseminação artificial, administração de produtos medicinais contaminados, vacinas inativadas incorretamente ou pelo homem, como carreador, são outras vias de transmissão do vírus da febre aftosa menos comuns (OLASCOAGA et al., 1999; GRUBMAN; BAXT, 2004; OIE, 2016a).

Os suínos podem ser infectados pela via digestiva (por exemplo: ao se alimentar com restos de comida), podendo gerar uma grande quantidade de vírus, o qual pode ser transmitido pelo ar. Assim, a proibição de alimentação de suínos com restos alimentares deve ser estritamente seguida, caso contrário o risco de introdução e difusão da doença pela ingestão de produtos contaminados é potencialmente alto. Os suínos são importantes na transmissão da doença, quando criados, de forma extensiva, em conjunto com bovinos (OLASCOAGA et al., 1999).

### **2.2.5 Sinais clínicos e diagnóstico**

O período de incubação depende da via de transmissão, da dose infectante e do sorotipo (OIE, 2016a). Em bovinos, varia de dois até 14 dias. Em suínos, o período de incubação normalmente pode variar de 18 horas até dois dias, ou, em alguns casos, até mais dias. Em ovinos, varia de três a oito dias (OLASCOAGA et al., 1999; GRUBMAN; BAXT, 2004).

A sintomatologia varia bastante dentre as espécies domésticas de produção. Em caprinos, ovinos e bubalinos, quando infectados, há pouca intensidade das lesões, dificultando a detecção clínica da infecção pelo vírus da febre aftosa nessas espécies. Os bovinos acometidos podem apresentar, além de febre, vesículas na boca, no epitélio interdigital e no úbere que, quando rompidas devido à infecção secundária, fazem com

que os animais acometidos tenham salivagem excessiva, dificuldade de alimentar-se e locomover-se. Os ovinos, que não demonstram sinais clínicos claramente, podem ser responsáveis pela transmissão do vírus de forma silenciosa, ampliando as consequências em um evento sanitário (OIE, 2016a).

Charleston et al. (2011) demonstraram, em um estudo experimental, que o período infeccioso de um bovino com febre aftosa ocorre, em média, 0,5 dias após o surgimento dos primeiros sinais clínicos e tem duração de 1,7 dias. Assim, os animais que apresentam lesões típicas de febre aftosa bem desenvolvidas não são os mais prováveis transmissores do vírus da febre aftosa, sendo que os de maior risco são aqueles que recém apresentaram as lesões (OLASCOAGA et al., 1999).

Atualmente, para o diagnóstico definitivo de febre aftosa, além da investigação epidemiológica a campo, devem-se realizar exames laboratoriais sorológicos (ELISA e EITB), moleculares (RT-PCR) e de isolamento viral (OIE, 2012).

#### 2.2.6 Resistência do vírus da febre aftosa

O vírus da febre aftosa se mantém viável sob refrigeração e congelamento e é progressivamente inativado por temperaturas acima de 50°C. Carne aquecida, no seu interior, a uma temperatura mínima de 70°C durante pelo menos 30 minutos inativa o vírus (OLASCOAGA et al., 1999).

Trabalhos realizados (BARLOW, 1972) demonstraram que a perda da infectividade do vírus presente num aerossol está relacionada a baixa umidade relativa. A umidade relativa abaixo de 60% mostrou-se ser crítica para a sobrevivência do vírus em nuvens de aerossóis por grande período (BARLOW; DONALSON, 1973).

Quanto ao pH, o vírus da febre aftosa é rapidamente inativado com pH menor do que 6 e maior do que 9, portanto é normalmente inativado após o *rigor mortis*, mas pode sobreviver nos linfonodos e na medula óssea. Para atividades de biossegurança, a utilização de desinfetantes como o hidróxido de sódio (2%), o carbonato de sódio (4%), o ácido cítrico (0,2%), o ácido acético (2%), o hipoclorito de sódio (3%), o cloreto de peroximonossulfato de potássio/hidróxido de sódio (1%) e o dióxido de cloro inativam o vírus da febre aftosa. Por outro lado, o vírus é resistente aos iodóforos, compostos de amônio quaternário e aos fenóis, especialmente na presença de matéria orgânica (OLASCOAGA et al., 1999; OIE, 2016a).

O vírus da febre aftosa sobrevive em leite e produtos lácteos durante a pasteurização regular, mas é inativado por ultrapasteurização a alta temperatura. Sobrevive pouco à secagem, mas pode persistir por dias ou semanas em matéria orgânica sob temperaturas úmidas e frias. Pode persistir em forragem contaminada (OLASCOAGA et al., 1999; OIE, 2016a).

### **2.2.7** Medidas de controle

Em áreas livres, quando da ocorrência de um foco de febre aftosa, medidas para contenção do espalhamento do vírus e, conseqüentemente, do número de animais afetados, são tomadas pelo SVO, tais como: vacinação em anel fazendo um cinturão nas áreas afetadas, controle e proibição da movimentação animal (BUHNERKEMPE et al., 2014) e produtos de origem animal na área afetada, abate ou sacrifício sanitário dos animais doentes ou possíveis animais infectados, como animais da propriedade afetada e animais vizinhos a esta, entre outras medidas. Todas as medidas estão previstas nos planos nacionais de emergência (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009). O tratamento de animais acometidos não é recomendado, pois esses permanecerão eliminando vírus no ambiente. A eliminação ágil de todas as possíveis fontes do vírus, animais infectados, pode ser determinante para um rápido e eficaz controle de um foco de febre aftosa (OLASCOAGA et al., 1999).

## **ARTIGO 1 – A ANÁLISE DE RISCO COMO FERRAMENTA ESTRATÉGICA PARA O SERVIÇO VETERINÁRIO OFICIAL BRASILEIRO: DIFICULDADES E DESAFIOS<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo publicado em 2014 na revista científica Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 34, n. 6, p. 542-554. A formatação do artigo segue as normas da revista em que ele foi publicado. Essa revisão foi realizada com o objetivo de ilustrar as dificuldades e desafios do uso da AR na área de saúde animal no Brasil, bem como evidenciar a sua importância como ferramenta a ser empregada pelo SVO na tomada de decisões. Os valores de probabilidade descrito no exemplo de PRRS foram modificados nesse documento e foi enviada uma solicitação de errata em 23.04.2016 para a revista Pesquisa Veterinária Brasileira para correção dos valores publicados no ano de 2014.

Tópico de Interesse Geral

**A análise de risco como ferramenta estratégica para o serviço veterinário oficial brasileiro: dificuldades e desafios<sup>1</sup>**

Diego V. Santos<sup>2,5\*</sup>, Bernardo Todeschini<sup>3</sup>, Christiane M.B.M. Rocha<sup>4</sup> e Luís G. Corbellini<sup>5</sup>

Santos D.V., Todeschini B., Rocha C.M.B.M. & Corbellini L.G. 2014. [**Risk analysis as a strategic tool for Brazilian official veterinary service: problems and challenges.**] A análise de risco como ferramenta estratégica para o serviço veterinário oficial brasileiro: dificuldades e desafios. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 34(6):542-554. Seção de Epidemiologia e Estatística, Departamento de Defesa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Rio Grande do Sul, Av. Getúlio Vargas 1384, Bairro Menino Deus, Porto Alegre, RS 90150-900, Brazil. E-mail: [diego-santos@agricultura.rs.gov.br](mailto:diego-santos@agricultura.rs.gov.br)

<sup>2</sup> Seção de Epidemiologia e Estatística (SEE), Departamento de Defesa Agropecuária (DDA), Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Rio Grande do Sul (SEAPA-RS), Av. Getúlio Vargas 1384, Bairro Menino Deus, Porto Alegre, RS 90150-900, Brasil. \*Autor para correspondência: [diego-santos@agricultura.rs.gov.br](mailto:diego-santos@agricultura.rs.gov.br)

<sup>3</sup> Divisão de Defesa Agropecuária, Superintendência Federal do Rio Grande do Sul, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Av. Loureiro da Silva 515/711, Porto Alegre, RS 90010-420. E-mail [bernardo.todeschini@agricultura.gov.br](mailto:bernardo.todeschini@agricultura.gov.br)

<sup>4</sup> Setor de Medicina Veterinária Preventiva, Departamento de Medicina Veterinária (DMV), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Cx. Postal 3037, Campus Universitário, Lavras, MG 37200-000, Brasil. E-mail: [rochac@dmv.ufla.br](mailto:rochac@dmv.ufla.br)

<sup>5</sup> Laboratório de Epidemiologia Veterinária (EPILAB), Departamento de Medicina Veterinária Preventiva, Faculdade de Medicina Veterinária (FAVET), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves 9090, Agronomia, Porto Alegre, RS 91540-000, Brasil. E-mail: [luis.corbellini@ufrgs.br](mailto:luis.corbellini@ufrgs.br)

---

<sup>1</sup>Recebido em 3 de fevereiro de 2014.

Aceito para publicação em 7 de maio de 2014.

**ABSTRACT.** The official veterinary service is responsible for protecting public and animal health, certifying the supply of safe animal products to consumers. A tool that assists in the pursuit of these goals is the risk analysis, which began to be used in the second half of the 1990s for the official veterinary services of countries. To carry out a risk analysis, qualitative or quantitative, one must initially identify the danger, which in the area of animal health is usually the pathogen causing a disease. The subsequent step is risk assessment, which must be analyzed, supported by scientific studies or experts in the field, the possible ways of introduction, exposition and maintenance of the pathogen in the susceptible population, as well biological, economic, political and social consequences. The third step in the analysis of risk refers to risk management, which aims to propose measures to mitigate the risk to the desired level, and assess the cost/benefit of each measure. The last phase of a risk analysis is risk communication. This step is critical for success of the study and should be initiated along with risk analysis itself, always leaving open a permanent communication with all social actors interested in risk analysis. Risk analysis has become an important tool used by managers of the official veterinary services in decision-making, contributing to the choice of alternatives that give scientifically the lowest animal health risk. This study conducted a review of the literature on risk analysis aimed to expose its definition and development process, as well as to see how it is being used and what limitations and challenges of using this tool by the Brazilian national veterinary service.

**INDEX TERMS:** SPS, World Trade Organization, WTO, OIE, risk assessment.

**RESUMO.-** O serviço veterinário oficial é responsável por proteger a saúde pública e animal, assegurando a oferta de produtos de origem animal inócuos aos consumidores. Uma ferramenta que auxilia na busca desses objetivos é a análise de risco, que iniciou a ser utilizada na segunda metade da década de 90 pelos serviços veterinários oficiais dos países. Para a realização de uma análise de risco, qualitativa ou quantitativa, inicialmente deve-se identificar o perigo, a qual na área da saúde animal geralmente é o agente patogênico causador de uma doença. A etapa subsequente é a avaliação do risco, na qual devem ser analisados, com suporte de trabalhos científicos ou especialistas na área, as formas possíveis de introdução, exposição e manutenção do agente patogênico na população susceptível, bem como as consequências, biológicas, econômicas, políticas e sociais trazidas pela enfermidade. A terceira etapa da análise de risco refere-se ao manejo dos riscos, que visa propor medidas que mitiguem o risco verificado até o nível desejado, bem como avaliar o custo/benefício de cada medida. A última fase de uma análise de risco é a comunicação dos riscos. Essa etapa é fundamental para o sucesso do estudo e deve ser iniciada juntamente com a análise de risco em si, sempre deixando aberto um canal permanente de comunicação com todos os atores sociais interessados na análise de risco. A análise de risco tornou-se um importante instrumento utilizado pelos gestores dos serviços veterinários oficiais na tomada de decisões, contribuindo para a escolha de alternativas que confirmam, cientificamente, o menor risco sanitário. Este trabalho realizou uma revisão da literatura sobre análise de risco objetivando expor sua definição e processo de elaboração, assim como verificar como ela está sendo utilizada, quais limitações e desafios do uso dessa ferramenta pelo serviço veterinário oficial brasileiro.

TERMOS DE INDEXAÇÃO: Acordo SPS, Organização Mundial do Comércio, OMC, OIE, avaliação de risco.

## INTRODUÇÃO

O Serviço Veterinário Oficial (SVO) é responsável pela proteção e melhoria da saúde pública e animal. Sua principal tarefa é garantir que todas as partes envolvidas na produção de alimentos cumpram com suas respectivas obrigações sanitárias e higiênicas, a fim de assegurar um alimento seguro para o consumidor (Marabelli 2003). No Brasil, o SVO é representado, em nível federal, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) e, em nível estadual, pelos órgãos de defesa sanitária animal das unidades federativas.

Desde a criação do Acordo sobre a aplicação de medidas sanitárias e fitossanitárias (SPS) (WHO 1995) pela Organização Mundial do Comércio (OMC), o SVO ganhou ainda mais importância. Apesar de algumas críticas (Silverglade 2000), tal acordo estabeleceu regras para regulamentar o comércio internacional de animais e produtos de origem animal e vegetal, a fim de evitar a imposição, por parte do país importador, de barreiras não tarifárias, na forma de medidas sanitárias injustificadas com finalidade de proteger sua indústria nacional da competição de produtos importados (Vallat & Wilson 2003, OIE 2006). O acordo SPS especifica regulamentações básicas sobre segurança dos alimentos e *Standards* em saúde animal e vegetal e parte da premissa de que as medidas de proteção à saúde animal, humana e vegetal devam ser baseadas em princípios científicos, não sendo aplicadas de forma discriminatória ou de forma a constituir restrição velada ao comércio internacional.

A partir do acordo SPS, a OMC definiu, em 1998, a Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) como a organização normatizadora responsável pelo estabelecimento dos padrões e recomendações internacionais quanto às medidas sanitárias necessárias para o comércio de animais e seus produtos (Brückner 2009, OIE 2013b). Da mesma forma, o “Codex Alimentarius Commission” (CAC) é uma comissão criada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e Organização Mundial das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) que, através da elaboração de manuais e códigos de boas práticas, é referência internacional associada ao desenvolvimento de *Standards* em alimentos (WHO/FAO 2005). Desde então,



países membros da OMC deveriam justificar as medidas sanitárias impostas para a importação de animais e seus produtos, utilizando preferencialmente aquelas baseadas nas recomendações preconizadas pela OIE (Thiermann 2005, OIE 2012a, 2012b). No caso de ausência de recomendações ou da adoção de medidas mais restritivas do que aquelas recomendadas pela OIE, o próprio país importador deve basear as medidas sanitárias adotadas em análises de risco específicas, conforme o modelo proposto por Covello & Merkhoher (1993) e preconizado pela OIE (MacDiarmid & Pharo 2003, Dufour et al. 2011). Portanto, a Análise de Risco (AR) no âmbito do comércio de animais e seus produtos visa facilitar o comércio internacional, ao mesmo tempo em que pretende proteger a saúde animal e humana (MacDiarmid & Pharo 2003). Por outro lado, a adoção de códigos de boas práticas e aplicação da análise de risco na cadeia alimentar (CAC 1999, 2007, 2011) preconizados pelo CAC, em teoria, também serve como facilitador para o comércio internacional de alimentos de origem animal e vegetal, pois estas recomendações são referência global para os consumidores, produtores e indústria processadora de alimentos e agências nacionais de vigilância (Schaffner 2008). De forma mais ampla, a AR na veterinária poderia ser considerada uma ferramenta que auxilia na tomada de decisões, proporcionando a obtenção, mediante um processo lógico, estruturado e consistente, de informações sobre o risco de introdução, estabelecimento e difusão de doenças, estimando o seu impacto econômico e suas consequências para a saúde pública e animal (OIE 2006). No âmbito da segurança dos alimentos, a AR é um método que auxilia na promoção da saúde pública, uma vez que a forma estruturada de análise do processo de produção (da “fazenda à mesa”) permite avaliar o impacto de medidas de mitigação na ocorrência de casos de doenças transmitidas pelos alimentos.

Os SVO utilizaram, de alguma forma, a AR para seus sistemas de vigilância, monitoria, controle e erradicação de doenças, ainda que essa utilização não seguisse uma forma estruturada (Zepeda et al. 2001, OIE 2006, Willeberg et al. 2012). O advento do acordo SPS fez com que AR estruturadas tenham sido realizadas pelo SVO e colaboradores, tanto de países importadores quanto exportadores, com objetivo de avaliar perigos aos quais populações animais e humanas poderiam ser expostas devido à circulação de animais e seus produtos.

A AR, no âmbito governamental, tem sido amplamente utilizada para avaliar os riscos de introdução de agentes patogênicos através da importação de produtos de origem animal e vegetal (Análise de Risco de Importação) bem como estimar, para

uma população, a probabilidade de ocorrência de uma doença transmitida por um patógeno que pode estar presente no alimento de origem animal e as consequências associadas (Análise de Risco Microbiológica em alimentos). O presente trabalho está focado primariamente na análise qualitativa de risco de importação de produtos que possam conter um determinado patógeno, tendo como objetivo realizar uma revisão da literatura abordando aspectos sobre o que é, como se elabora e como a análise de risco está sendo utilizada pelo SVO brasileiro para proteger, manter e evoluir o status sanitário dos rebanhos, destacando suas dificuldades e desafios.

## REVISÃO DE LITERATURA

A AR é uma importante ferramenta que facilita a tomada de decisão, sendo utilizada em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, na engenharia (Almeida 2005), medicina (Everett 1981), segurança dos alimentos (Schaffner 2008) e na medicina veterinária (Yu et al. 1997, Palmer et al. 2005, Armstrong & Haas 2007, Corbellini et al. 2010, Sanchez-Vizcaino et al. 2010a, Corbellini et al. 2012, Willeberg et al. 2012). Um estudo de AR pelo SVO pode ser realizado para avaliar o potencial de ingresso de uma enfermidade e suas possíveis vias de introdução (Sanchez-Vizcaino et al. 2010a, 2010b, Hasler et al. 2012), para estimar o risco que representa a importação de um produto específico (Miller et al. 1993, OIE 2006) e avaliar o impacto de determinados pontos críticos do processo de produção na incidência de doenças transmitidas pelo alimento, contribuindo para gestão de riscos dos processos de produção de alimentos (Schaffner 2008, Pouillot et al. 2012).

A AR é uma ferramenta preconizada pela OIE para que os países membros interessados busquem um adequado nível de proteção para a sanidade de seus rebanhos nas relações de comércio internacional (Covello & Merkhoher 1993). Utilizada há pouco mais de uma década na área da saúde animal, portanto podendo ser considerada uma técnica recente, o uso da AR disseminou-se rapidamente dentro dos SVO, em especial daqueles importadores de animais e seus produtos e hoje é utilizada rotineiramente para avaliação e mensuração de riscos oferecidos pela importação de produtos agropecuários. Outra característica importante da AR é seu caráter técnico e objetivo, que auxilia os gestores nas suas escolhas, já que ela tenta eliminar ou, pelo menos, reduzir a subjetividade na tomada de decisões (OIE 2006).

## Etapas de uma Análise de Risco

A AR, conforme modelo adotado pela OIE, é composta de 4 etapas: (i) identificação dos perigos, (ii) avaliação dos riscos, (iii) manejo dos riscos e (iv) comunicação dos riscos.

### 1) Identificação do perigo

Perigo é definido como a fonte de um dano potencial, que poderá causar um evento adverso (OIE 2006). A identificação do perigo é o processo de identificar algum agente patogênico, físico ou químico, que poderia ser introduzido em um país ou região e que poderia trazer danos, sanitários ou econômicos à produção animal e saúde pública (Covello & Merkhoher 1993, Miller et al. 1993, MacDiarmid & Pharo 2003, OIE 2006).

A identificação do perigo, quando este se tratar de um agente patogênico, passa pelo conhecimento das propriedades deste agente, assim como a epidemiologia da enfermidade causada pelo mesmo nas populações locais e globais. Essas informações devem ser buscadas na literatura científica, nos SVO dos países e junto a OIE, a qual disponibiliza informações das ocorrências sanitárias das enfermidades animais em seu site (OIE 2013a). Ressalta-se que é importante buscar informações em fontes confiáveis, podendo abranger bibliotecas, buscas na internet e consultas junto a especialistas na área (Miller et al. 1993, Moutou et al. 2001, Uhlenhopp 2002, MacDiarmid & Pharo 2003, Hauser et al. 2004, OIE 2006). A fim de auxiliar na compilação das informações pesquisadas, pode ser realizado processo de revisão sistemática ou meta-análise para determinadas informações objetivando estruturar os dados existentes (Dohoo et al. 2010). Para cada produto a ser importado, o avaliador de risco deve identificar que agentes podem estar presentes, levando em consideração a situação epidemiológica da região e as características do produto. Por exemplo, a “*Australian Quarantine and Inspection Services (AQIS)*” identificou os seguintes perigos em uma análise de risco de importação de sêmen e embrião bovino da Argentina e Brasil: vírus da febre aftosa, vírus da estomatite vesicular, vírus da língua azul, *Leptospira* spp., vírus da raiva, *Mycobacterium paratuberculosis*, *M. bovis*, *Brucella abortus*, vírus da leucose bovina, *Pasteurella multocida* (sorotipos B:2 e E:2), Herpevírus bovino, Pestivírus bovino e o vírus da epizootia hemorrágica de cervos (AQIS 1999).

## 2) Avaliação dos riscos

A probabilidade da ocorrência de um evento adverso (foco de uma doença causada por um determinado perigo identificado na etapa anterior) e a magnitude de suas consequências é chamada de risco (Miller et al. 1993, OIE 2006). Portanto, conforme preconiza o Código Sanitário dos Animais Terrestres da OIE, depois de alcançada a identificação do perigo, deve ser realizada uma avaliação do risco (OIE 2012b). Desta forma, esta etapa de avaliação do risco consiste em avaliar a probabilidade de ocorrência e as consequências biológicas e econômicas da entrada, difusão e manutenção do perigo dentro de uma zona ou país (MacDiarmid 1993, MacDiarmid & Pharo 2003, Murray et al. 2004, OIE 2006, 2012b). É importante destacar que o artigo 5º do acordo SPS refere-se à avaliação de risco, enquanto a OIE descreve e recomenda a AR, onde a avaliação de risco é um dos componentes do processo (Zepeda et al. 2005).

### 2.1) Tipos de avaliação de risco

Quanto à mensuração dos riscos, a avaliação de risco pode ser classificada de duas formas: qualitativa ou quantitativa. No primeiro tipo de avaliação de risco, o resultado da avaliação das consequências é expresso em escalas descritivas, utilizando termos como “alto”, “médio” ou “baixo”. Já na avaliação de risco quantitativa, a probabilidade é expressa em valores numéricos, que oferece uma noção mais precisa da ocorrência de um evento adverso (MacDiarmid 1993, MacDiarmid & Pharo 2003, Murray et al. 2004, OIE 2006). Embora ambas as avaliações de risco sejam válidas, normalmente realiza-se primeiro uma avaliação de risco qualitativa (Pintelon 1994). O presente artigo se focará mais na estimação de riscos qualitativa, como explicado posteriormente e citará exemplos de aplicações de distribuição quantitativa aplicada em análises quantitativas.

**2.1.1) Avaliação de risco qualitativa.** Considerada como de execução mais simples e rápida, quando comparada com a avaliação de risco quantitativa. Nesse tipo de avaliação, não há a quantificação numérica de probabilidade das variáveis, sendo utilizadas escalas descritivas para avaliar a probabilidade da ocorrência de cada evento. Normalmente, essa avaliação qualitativa é utilizada como avaliação inicial para identificar situações que demandem um estudo mais profundo, em casos que o risco em questão não justifica o tempo e esforço requerido por uma análise mais

detalhada ou, ainda, quando não há informações suficientes para quantificar os parâmetros das variáveis do modelo quanto à introdução ou ocorrência do perigo da análise (OIE 2006). No Brasil, a maioria das avaliações de risco na área de saúde animal realizadas até o momento é qualitativa (Quadro 1), justamente pela falta de informações para quantificar alguns parâmetros dos estudos (Figueiredo et al. 2012a, Figueiredo et al. 2012b, Cunha et al. 2012).

**2.1.2) Avaliação de risco quantitativa.** Em termos gerais, se prefere esse tipo de análise, pois há uma base mais sólida para a tomada de decisões, já que há uma mensuração numérica dos valores de probabilidade quanto aos riscos e medidas mitigatórias. Esse tipo de avaliação utiliza valores numéricos para estimar a probabilidade de ocorrência de cada evento. A dificuldade para a realização desse tipo de análise é a sua complexidade, a qual demanda um tempo maior quando comparado com a análise qualitativa, assim como a comum falta de informações quantitativas necessárias para mensurar cada evento da AR (Miller et al. 1993). No Brasil, em áreas onde o sistema de vigilância em saúde animal está mais bem estruturado e, portanto, possui os dados necessários para a realização desse tipo de análise, como é o caso da suinocultura industrial, há estudos desse tipo realizados (Salman et al. 2006, Delphino 2010). Na avaliação de risco quantitativa, a estocasticidade dos eventos é determinada através da aplicação de distribuições de probabilidades na qual, através de simulações de Monte Carlo, resultarão em um intervalo de probabilidade. Ou seja, ao contrário de uma análise determinística, cujo resultado é um valor fixo, os modelos estocásticos resultam em uma distribuição de probabilidade de um dado evento que são determinados, por sua vez, pelos valores aplicados aos parâmetros da distribuição. Por exemplo, até o momento o Brasil nunca registrou casos de PRRS (*Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome*) (OIE 2013a). Neste panorama, o SVO poderia realizar uma AR caso houvesse uma demanda para importação de sêmen suíno de um determinado país. Ao identificar que PRRS pode estar presente no sêmen, é necessário obter informação acerca da detecção do agente no sêmen no país de origem e a quantidade importada, por exemplo, por mês, para avaliar a probabilidade de um frasco de sêmen suíno estar contaminado com o vírus. Se a prevalência média de contaminação de sêmen suíno de um determinado país for de 0,02% e, a cada mês, fosse importado em média 5000 frascos, a probabilidade de entrada de sêmen contaminado a cada mês poderia ser estimada através da distribuição binomial, pelos

parâmetros de prevalência ( $p$ ) e número de frascos ( $n$ ). Neste caso, a média mensal de números de frascos contaminados seria dada por  $n.p$ , ou seja, 1 frasco. Aplicando-se estes valores a distribuição binomial (5.000; 0,02%), se pode estimar a distribuição de probabilidade do número de frascos de sêmen contaminados. A Figura 1 ilustra esta distribuição após a simulação computacional utilizando 10 mil iterações no software @ risk. Com estes parâmetros, haveria uma probabilidade de 63.2% de cada lote conter pelo menos um frasco contaminado.

## 2.2) **Etapas para a avaliação de risco**

Segundo o Código Terrestre da OIE (OIE 2012b), esta etapa da análise de risco, tanto qualitativa como quantitativa, compreende quatro passos que fazem a avaliação da: 1) introdução (ou difusão); 2) exposição; 3) consequências e 4) estimacão dos riscos, conforme descrito abaixo.

**2.2.1) Avaliação da introdução.** Essa fase descreve a probabilidade de introdução do perigo, desde o local de origem até o local de destino dos animais ou de seus produtos (OIE 2006, Figueiredo et al. 2012c). Consiste em descrever os processos biológicos necessários para que uma atividade de importação provoque a introdução de agentes patogênicos por um meio determinado e estimar a probabilidade que isso ocorra efetivamente (MacDiarmid 1993, Murray et al. 2004)

Para esta avaliação deve ser levado em consideração o volume esperado de transações de animais ou de seus produtos entre os países; a infraestrutura do SVO do país de origem; a distribuição e prevalência do agente no país ou na região de origem; as medidas preventivas adotadas pelo SVO no país de origem e sua eficiência; a sobrevivência do agente patogênico de interesse no animal ou produtos, levando em consideração as variáveis como espécie, raça, locais de predileção do agente e as condições de processamento; potencial de contaminação existente e ações e medidas preventivas adotadas no país de destino (MacDiarmid & Pharo 2003, Marabelli 2003, Vallat & Wilson 2003, Murray et al. 2004, OIE 2006, 2012b, Leanes et al. 2011).

**2.2.2) Avaliação da exposição.** Nessa fase, busca-se descrever os processos biológicos necessários para que os animais e as pessoas do país importador sejam expostos ao perigo introduzido a partir de uma fonte de risco determinada pelo país exportador (de origem) e estimar qualitativamente ou quantitativamente a

probabilidade dessa exposição (Hauser et al. 2004, OIE 2006, 2012b, Paton et al. 2010, Mur et al. 2012).

Para isso, se faz necessário conhecer a distribuição das populações suscetíveis no país de destino; a proporção de indivíduos imunes nessas populações com relação ao agente patogênico em questão; a forma de utilização do produto ou animal no país de destino; o mecanismo de transmissão da enfermidade; fatores de risco que afetam a sobrevivência do organismo; a presença de vetores potenciais e o ciclo de vida do agente patogênico, identificando hospedeiros secundários ou intermediários (OIE 2006, Figueiredo et al. 2012c).

Tendo estabelecido as duas avaliações (de introdução e exposição), pode-se estimar da probabilidade de ocorrência da enfermidade no país de destino. A variação dos resultados de uma análise de risco quantitativa pode ser decorrente de incertezas e variabilidade dos parâmetros utilizados. Incerteza se constitui na falta de conhecimento sobre um determinado parâmetro e pode ser reduzida com a coleta de dados. A variabilidade, por sua vez, representa uma heterogeneidade que é inerente à população, não diminuindo com mais coleta de dados (Nauta, 2000). Ao se construir um modelo que descreva os caminhos de entrada e exposição de uma população a um determinado patógeno, como explicado anteriormente, se faz necessário a obtenção de uma série de dados que, muitas vezes, são escassos ou até mesmos indisponíveis. Nesta circunstância, a estimativa de risco conterà um alto grau de incerteza. No caso de uma análise quantitativa de importação, muito dos parâmetros utilizados para caracterizar os riscos são obtidos através de dados escassos ou através da obtenção de informação de especialistas na área. Distribuições de probabilidades, como exemplificado na seção 2.1.2, são utilizadas para quantificar as incertezas na quantificação dos parâmetros. Para incorporar a incerteza no cálculo do risco, são utilizados modelos de simulação, com auxílio de softwares, que repetem o cálculo múltiplas vezes (cada cálculo é chamado de iteração) e que finalmente expressam valores de acordo com a distribuição de probabilidades que tenha sido determinada para cada parâmetro (MacDiarmid & Pharo 2003, OIE 2006). Alguns softwares que realizam simulações de Monte Carlo são o @risk (Palisade) e ModelRisk (Vose Software), ambos comerciais e o R, software livre. Os dois primeiros são suplementos que rodam no Excel e o R exige conhecimento de sua linguagem específica. A Figura 1 ilustra as incertezas com relação a introdução de PRRS através da importação de sêmen contaminado.

Assim, a probabilidade de ocorrência (de um foco ou caso de doença numa população), definida como a análise conjunta da avaliação da introdução e da avaliação da exposição, pode ser obtida e categorizada, no caso da AR qualitativa, como insignificante (o evento não ocorreria), extremamente baixa (extremamente improvável que o evento ocorra), muito baixa (muito improvável que o evento ocorra), baixa (improvável que o evento ocorra), ligeira (possível que ocorra o evento em uma probabilidade baixa), moderada (possível que ocorra o evento em uma probabilidade alta) e alta (altamente provável que ocorra o evento) (OIE 2006). A matriz de categorização da probabilidade de ocorrência preconizada pela OIE pode ser visualizada na Figura 2. Há trabalhos que propõem outras classificações categóricas ordinais, mais específicas com até dez categorias (Dufour et al. 2011). Entretanto, comumente é utilizada a categorização proposta pela OIE.

**2.2.3) Avaliação das consequências.** Nessa etapa, realiza-se a descrição da relação entre determinadas condições de exposição a um perigo e as consequências dessa exposição. As consequências podem ser divididas em diretas e indiretas e podem ser agrupadas em biológicas, econômicas, sociais e políticas (Bier & Mosleh 1990, MacDiarmid 1993, Pintelon 1994, MacDiarmid & Pharo 2003, OIE 2006, Evans 2006, Cohen et al. 2007, Campbell 2008, WHO 2013).

Consequências biológicas são aquelas derivadas da introdução e exposição do agente patogênico dentro de uma população suscetível, levando em consideração a magnitude dos efeitos da ocorrência do agente em termos de morbidade, mortalidade e letalidade. Estas consequências devem ser mensuradas de acordo com as informações obtidas acerca da população, como a distribuição espacial de animais suscetíveis, características do agente, e fatores do meio ambiente, além da capacidade de detecção e de resposta rápida por parte do SVO devem ser consideradas (OIE 2006).

Consequências econômicas são aquelas relacionadas com o possível prejuízo de produção ou de exportação em caso de entrada, estabelecimento e propagação de uma doença. Outros aspectos como os custos de controle ou erradicação da enfermidade e a relação custo/benefício de outros métodos para mitigar o risco devem ser avaliados (Murray et al. 2004, OIE 2012b).

A avaliação das consequências pode ser categorizada em insignificantes (as consequências biológicas e econômicas derivadas da introdução do agente patogênico



são insignificantes), muito baixas (as consequências biológicas e econômicas derivadas da introdução do agente patogênico são pequenas), baixas (as consequências biológicas e econômicas derivadas da introdução do agente patogênico são baixas), moderadas (as consequências biológicas e econômicas derivadas da introdução do agente patogênico são intermediárias), altas (as consequências biológicas e econômicas derivadas da introdução do agente patogênico são severas) e extremas (as consequências biológicas e econômicas derivadas da introdução do agente patogênico são catastróficas) (Murray et al. 2004, OIE 2012b).

**2.2.4) Estimação do risco.** Para realizar a estimativa do risco, devem-se analisar os dados obtidos da avaliação de ocorrência (análise conjunta da probabilidade de introdução e exposição) e da avaliação das consequências da doença (OIE 2006, Figueiredo et al. 2012c). A matriz de categorização da estimativa de risco preconizada pela OIE (OIE, 2006) pode ser visualizada na Figura 3.

Ressalta-se que a utilização de matrizes para determinar o risco numa AR possui suas limitações (Carr & Tah 2001, Ni et al. 2010). Em modelos quantitativos ou semi-quantitativos, em especial se a probabilidade da ocorrência de um evento e a magnitude das consequências forem negativamente correlacionadas, podem ocorrer erros de avaliação de risco e, conseqüentemente, escolhas de priorização de risco errôneas (Cox Jr. 2008, Markowski & Mannan 2008). Outro problema do uso das matrizes é a subjetividade, sendo que diferentes pessoas podem fazer escolhas diferentes, pois podem haver graus de subjetividades ou variação nas variáveis analisadas, resultando em riscos diferentes conforme o avaliador (Cox Jr. 2008).

Assim, se faz necessário o uso com parcimônia das matrizes de risco, sendo que nem sempre as mesmas são um bom suporte para decisões de manejo de risco (Cox Jr. 2008, Markowski & Mannan 2008).

Posteriormente, depois de finalizada a estimativa do risco, é possível realizar uma análise de sensibilidade do modelo. Na análise quantitativa, tal procedimento visa verificar o comportamento do modelo em face da alteração de parâmetros utilizados para quantificar os riscos, ou ainda realizando uma avaliação estatística do peso de cada parâmetro no resultado final, através da análise de correlação, por exemplo. Nos modelos qualitativos, tal análise poderia ser conduzida pela intercâmbio de probabilidades na matriz de categorização de riscos, o que permitiria trabalhar com cenários de estimativa qualitativa de risco. Assim, podem-se determinar quais são os

pontos mais importantes na existência do risco e direcionar as medidas que visam mitigar esse risco de forma mais eficiente (Urbina-Amaris 2003, OIE 2006).

### **3) Manejo do risco**

Processo de identificar, avaliar, selecionar e implantar medidas para mitigar a probabilidade de ocorrer um evento não desejado ou diminuir a magnitude das consequências atreladas à ocorrência do evento (Bier & Mosleh 1990, Pintelon 1994, MacDiarmid & Pharo 2003, Campbell 2008).

Inicialmente, se realiza a apreciação do risco, que consiste em comparar o resultado obtido com um nível de risco aceitável de proteção estabelecido por um país (MacDiarmid & Pharo 2003).

O risco aceitável, segundo a OIE, é definido como o nível de risco arbitrado pelos países membros como compatível com a proteção animal e a saúde pública dentro de seus respectivos países (OIE 2012b). Entretanto, em negociações e transações internacionais de animais e seus produtos envolvendo países membros da OIE, não é tão fácil determinar o que é um risco aceitável, pois o que é aceitável para um grupo (país exportador) pode não ser aceitável para outro (país importador) (MacDiarmid 1993, Murray et al. 2004).

Ressalta-se que a determinação do risco aceitável é importante, pois após a avaliação do risco, com base no parâmetro de risco aceitável proposto, serão tomadas as medidas de manejo do risco que visem mitigá-lo até o nível de risco aceitável (tolerado) (MacDiarmid & Pharo 2003).

### **4) Comunicação do risco**

É a parte da AR que assegura a transparência mediante o estabelecimento de canais de comunicação com todos os atores envolvidos no processo (OIE 2006). Deve fazer parte do processo desde o início da AR e ocorrer ao longo de seu desenvolvimento, sendo assim um processo horizontal. A comunicação trata de informar as partes potencialmente afetadas e interessadas na AR quanto ao seu desenvolvimento e consequências. Geralmente, a atenção dada à comunicação do risco é a que mais influencia no sucesso da avaliação do risco, bem como, na determinação e aceitação da estratégia de manejo do risco mais apropriada (MacDiarmid & Pharo 2003). Assim, é muito importante que se estabeleça uma estratégia de comunicação com o objetivo de assegurar que todos os setores

envolvidos participem e estejam informados do processo de tomada de decisões (OIE 2006).

### **AR realizadas pelo SVO brasileiro**

Um compilado das AR e avaliações de risco realizadas no Brasil e publicadas, tanto as de Importação (ARI) como as de Risco Microbiológico (ARM) envolvendo animais aquáticos e animais terrestres e seus produtos, tendo ou não a participação do SVO brasileiro, está demonstrado no Quadro 1. Há estudos realizados no Brasil (Ferreira 2000; Nogueira et al 2011), que tratam de avaliação de consequências (difusão da doença e econômica) que não foram reportados no Quadro 1 por não se tratar de uma AR propriamente dita. Similarmente, estudos realizados especificamente com o intuito de definição de políticas sanitárias não foram relacionados pelas mesmas razões, embora sejam de reconhecida importância para a sanidade animal e suporte para tomada de decisão.

#### **1) Animais aquáticos.**

No Brasil, quem responde pelo controle do trânsito nacional e interestadual de organismos aquáticos, incluindo a avaliação de risco de introdução de agentes infecciosos no território nacional por meio da importação de animais aquáticos e de suas formas de multiplicação, bem como pela importação de pescado e derivados é o MPA. Desde 2010 o MPA tem instituído procedimentos gerais para a realização de ARI de pescado e derivados e de animais aquáticos, células, órgãos e tecidos a fim de mensurar o impacto das importações na sanidade pesqueira e aquícola nacional (BRASIL 2010).

Em termos de institucionalização da técnica de AR no âmbito da defesa animal, o MPA é o mais avançado no Brasil. Além de produzir material específico sobre o assunto (Figueiredo et al. 2012c), até julho de 2013 já havia finalizado cinco ARI (sendo duas publicadas) e possuía outras 23 em andamento (MPA 2013). Foram finalizados processos de ARI de pescado e derivados de salmonídeos provenientes do Chile e da Noruega, de alevinos de tilápia do Nilo originários de Singapura (Figueiredo et al. 2012a), de sêmen de ostra *Crassostrea gigas* do Chile e de camarões para consumo humano originários da Argentina (Figueiredo et al. 2012b). Estão em andamento os processos de ARI de moluscos bivalves da subfamília *Tridacninae* para ornamentação, de camarões para consumo humano originários do

Panamá e Equador, de filé de corvina originária do Chile, de filé de *pangasius* originário do Vietnã, de camarões para consumo humano originários da Índia, Portugal, Senegal e Noruega, de moluscos da classe Bivalvia e abalones para consumo humano originários do Chile e Peru, de filé de tilápia originário do Equador, de ovos férteis de truta arco-íris dos EUA para engorda, de mexilhões originários da Espanha para consumo humano e de filés de truta arco-íris originários do Peru (MPA 2013, Cunha et al. 2012).

As ARI são realizadas por uma equipe de médicos veterinários e biólogos do MPA e revisadas por especialistas renomados na área. Ao final, as ARI servem de suporte para os envolvidos nas tomadas de decisão em aceitar ou não o pedido de importação, podendo solicitar medidas mitigadoras do risco, como por exemplo, na ARI de alevinos originários de Singapura destinados à multiplicação animal, onde o MPA concluiu que a importação é aceitável, desde que testes laboratoriais, aplicação de antibióticoterapia e quarentena fossem realizadas como medidas mitigatórias do risco avaliado. Tais AR do MPA são publicadas e podem ser debatidas por atores envolvidos, como fez a Associação Brasileira dos Criadores de Camarões (ABCC) a qual questionou a AR realizada pelo MPA (Maia & Rocha 2013), solicitando a suspensão da importação de camarões da Argentina. Após julgamento inicial, a justiça brasileira não aceitou o pedido da ABCC, tendo como argumento que o Brasil é signatário da OMC e que o MPA realizou a AR conforme preconizado e não impôs restrição a importação dos camarões originários da Argentina (CJF 2013).

## **2) Animais Terrestres**

Em nível federal, o MAPA responde pela coordenação dos programas sanitários que norteiam a sanidade dos animais terrestres, assim como define o regramento quanto à inspeção de produtos de origem animal e o trânsito internacional de animais e seus produtos. A importação de animais terrestres e seus produtos derivados no Brasil se dá através de acordos sanitários internacionais firmados com países ou blocos econômicos, os quais consideram em um mesmo corpo de certificação as questões sanitárias específicas aplicáveis a cada caso. Estes acordos são precários, ou seja, passíveis de suspensão imediata no caso de alterações sanitárias nos países signatários. Ainda assim, pode ser considerado que não são realizadas ARI pelo MAPA, no sentido amplo do termo. Outros tipos de AR, como a Análise de Risco Microbiológica (ARM), que é uma ferramenta para promover a

segurança dos alimentos de origem animal e vegetal (Reij & Schothorst 2000, Cahill & Jouve 2004, Schaffner 2008), também são pouco realizadas pelo SVO brasileiro (Mürmann et al 2011). Como consequência, há poucas ARM realizadas em nível nacional, conforme pode ser visualizado no Quadro 1. Em contrapartida, ARM tem sido cada vez mais utilizada por governos de países Europeus e nos Estados Unidos (USDA/FSIS 1999, FAO/WHO 2002, FDA/FSIS 2003, USDA/FSIS 2005, EFSA 2010). Neste último, tanto o órgão responsável pela fiscalização e inspeção de produtos de origem animal (USDA/FSIS) e alimentos (DHHS/FDA) têm utilizado a ferramenta como método auxiliar no processo de decisão sobre questões de segurança dos alimentos, tanto domésticas como internacionais (Dennis et al. 2008).

Em adição, deve ser considerado que o processo de avaliação de risco é tradicionalmente utilizado na estruturação de instrumentos infra legais que normatizam os programas sanitários do MAPA (MAPA 1993, 1994, 1997, 2001a, 2001b, 2007, 2009, 2012). Os referidos instrumentos, fazendo uso do conceito de risco, são utilizados para regulamentar aspectos epidemiologicamente relevantes no controle e erradicação de enfermidades, de maneira aplicável ao macro cenário produtivo brasileiro. Tal estratégia tem sido aparentemente bem-sucedida, nas doenças de controle oficial, considerando o progresso na condição sanitária dos rebanhos brasileiros, como no caso da febre aftosa e da peste suína clássica (MAPA 2010, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2013e, 2013f, 2013g, 2013h).

Em comparação com outros países, há poucas AR ligadas à área de sanidade de animais terrestres e microbiologia dos alimentos de origem animal realizadas no Brasil, sendo algumas sem a participação do SVO (Quadro 1).

### **Limitações metodológicas na construção de uma AR no SVO brasileiro**

Os sistemas de vigilância em saúde animal desempenham um papel fundamental na disponibilização de dados com qualidade que poderão servir de subsídio para os estudos de AR (Zepeda et al 2001). No Brasil, há dificuldade dos sistemas de vigilância e monitoria em saúde animal de captar e registrar de forma tempestiva dados que venham a gerar informação de qualidade e conhecimento e, conseqüentemente, possam servir de base para construir uma AR. Tal problema não é exclusivo em nível nacional. Um exemplo dessa falta de dados pode ser exemplificado nas ARI realizadas pelo MPA, que na maioria das vezes opta por avaliações qualitativas, pois nas avaliações quantitativas há uma demanda por dados

muito detalhados e precisos no país de origem, como por exemplo distribuição e prevalência dos perigos biológicos elencados, o que reduz sua aplicabilidade devido à escassez e limitação de dados e conhecimento acerca do cenário de saúde dos animais aquáticos (Figueiredo et al. 2012a).

A falta de capacitação e, conseqüentemente, de pessoal preparado dentro do SVO é outro gargalo da realização de AR. Centros colaboradores da OIE realizam cursos de epidemiologia e análise de risco de curta duração a fim de capacitar profissionais do SVO. Além desses, outras instituições no mundo promovem cursos de análise de risco a fim de preparar profissionais nessa área (Zepeda et al. 2005), como é o caso do IICAA na América do Sul. No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, há uma dificuldade na formação de analistas de risco dentro do SVO (Zepeda et al. 2005) e, como consequência há carência de pessoal com essa expertise no SVO.

A segmentação das AR também pode ser apontada como um problema. Por exemplo, nas AR realizadas pelo MPA somente são avaliados os potenciais perigos para a saúde dos animais aquáticos, uma vez que a avaliação de potenciais perigos à saúde humana e ao meio ambiente não é de responsabilidade legal do MPA (Figueiredo 2012b). O ideal seria a criação de grupos interministeriais que pudessem trabalhar as AR como um todo, visando todos os potenciais perigos inerentes a importação de um animal ou produto, a fim de ter resultados mais eficientes para a sociedade. Uma alternativa seria criar uma única unidade a qual seria a responsável por coordenar todas as AR realizadas dentro do escopo do acordo SPS evitando a sobreposição de trabalho (Neeliah & Goburdhun 2010, Figueiredo & Miranda 2011). Na Europa, o órgão envolvido na coordenação e condução de avaliações de risco é o EFSA (European Food safety Authority). O EFSA é um órgão independente que possui diversos comitês científicos que colaboram nas decisões sobre as questões ligadas a segurança dos alimentos, saúde animal dentre outras, sendo responsável pela condução da avaliação e comunicação de riscos que são requeridas pela Comissão Europeia ou por países membros (EFSA 2103). Os avaliadores de risco são normalmente membros de comitês científicos ou profissionais ligados a alguma divisão específica de avaliação de risco dentro dos serviços de vigilância e saúde pública ou órgãos de inspeção federal, a exemplo do que ocorre na BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) na Alemanha, FSIS e FDA nos EUA.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A AR é uma ferramenta que pode auxiliar cientificamente o SVO na tomada de decisão, tanto para autorizar, de forma segura, o ingresso de animais e produtos de origem animal de outros países, como para avaliar seu próprio sistema de vigilância e monitoria em busca de pontos com maiores vulnerabilidades. Adicionalmente, a AR agrega transparência ao processo por permitir a visibilidade de critérios e a padronização de procedimento. Tal característica é especialmente interessante no caso do comércio internacional, o qual tem sido objeto de crescente regulamentação por organismos normatizadores visando reduzir a aplicação de barreiras não tarifárias ao comércio.

A metodologia a ser seguida da construção de uma AR, apesar de possuir algumas limitações metodológicas, é clara, objetiva, sistemática e transparente, podendo ser utilizada de diversas formas pelo SVO. No Brasil, ainda são poucas as AR realizadas e publicadas, mas mostram uma evolução nos últimos três anos (Quadro 1). O cenário nacional começou a ser modificado pelo MPA, o qual têm diversas ARI em andamento, além de cinco concluídas desde 2012, no que tange os animais aquáticos e seus produtos. Há uma equipe qualificada e definida que coordena a realização e divulgação desses estudos. Em contraste a isso, na área dos animais terrestres há poucos trabalhos realizados no MAPA, assim como nos órgãos estaduais de defesa sanitária animal. A maioria dos estudos realizados no Brasil na área de AR no âmbito de saúde dos animais terrestres foi desenvolvida por pesquisadores de universidades, em conjunto com o SVO (Quadro 1). A não realização de ARI de importação pelo MAPA, ao contrário do que realiza o MPA, pode ser um dos motivos que levem o SVO brasileiro, na parte de animais terrestres, a ainda ter um número pequeno de AR realizadas.

Apesar disso, assim como ocorre no MPA, algumas AR, em animais terrestres estão em andamento no Brasil. No Rio Grande do Sul (RS), em 2012, após a formatação de um acordo de cooperação técnica entre o SVO e a universidade (Santos et al. 2012), iniciaram-se duas AR, sendo uma para avaliar o risco da população de suínos asselvajados ter contato com a população de suínos comerciais no Estado (Medeiros et al. 2012) e outra que visa avaliar o risco da entrada do vírus da febre aftosa no RS (Santos et al. 2013a). Tais estudos poderão servir de base para assessorar os gestores do SVO gaúcho quanto à implantação de novas medidas de mitigação de

risco, caso a análise evidencie a existência de vulnerabilidades que atualmente não são contempladas pelo sistema de defesa. Nestes dois casos, não se trata de análise de risco de importação ou microbiológica, os dois tipos de AR mais comumente desenvolvidos no âmbito governamental, mas exemplifica o potencial da ferramenta no auxílio para a tomada de decisão em diferentes situações (Dewdney et al. 1991, McElvaine et al. 1993, Donaldson et al. 2001, Schijven et al. 2005, Ortiz-Pelaez et al. 2006, Acevedo et al. 2007, Boklund et al. 2008, Martinez-Lopez et al. 2008, 2009, Ge et al. 2010, Lane et al. 2010, Napp et al. 2010, Frossling et al. 2012, Havas et al. 2012).

Apesar de todo o benefício que uma AR pode trazer, ela ainda possui alguns importantes gargalos que dificultam seu uso disseminado pelo SVO brasileiro. A falta de dados e de profissional especializado na área são dificuldades encontradas rotineiramente. Sabendo-se da importância da AR para balizar o comércio pecuário mundial e do papel que as exportações dos produtos agropecuários possuem no superávit da balança comercial brasileira, resta indubitável que tanto o governo quanto as cadeias produtivas da pecuária nacional deveriam investir na formação de profissionais capacitados no SVO brasileiro capazes de atender as demandas internas e realizar AR de interesse nacional para os animais terrestres. No que se refere ao comércio internacional, tal qualificação permitiria às autoridades brasileiras manterem linhas de diálogos técnicos com seus pares de países parceiros comerciais, utilizando-se do suporte conferido pelo Acordo SPS e contornando e modelando subjetividades intrínsecas aos modelos de AR. Já em âmbito nacional, a AR permitiria uma abordagem técnico-gerencial aos programas sanitários vigentes, bem como a identificação de pontos críticos de controle e novos programas a serem desenvolvidos. A estruturação de unidades de AR, neste caso, deve buscar uma dimensão adequada às necessidades nacionais, considerando as demandas internas, dos diversos programas sanitários vigentes, e a complexidade de seus contextos de implantação relacionados à extensão territorial do país e suas idiossincrasias culturais. Além disso, especialistas poderiam ser convidados para contribuir em suas áreas de expertise, dentro da ideia de tratar cada AR como um projeto específico, como preconizado pela OIE (2006) e como ocorre no MPA (Figueiredo et al. 2012a, 2012b). Algumas AR construídas no Brasil seguiram um modelo de parceria entre a universidade e o SVO (Dias et al. 2011, Corbellini et al. 2012, Amaral 2013) o que deveria ser estimulado. O modelo adotado nesses casos, de buscar uma aproximação junto à academia e



formar parcerias na construção de AR gera bons resultados. As autoridades dos SVO deveriam estabelecer um trabalho em conjunto com a comunidade científica (e vice-versa). Essa ligação poderia ser estabelecida através de epidemiologistas trabalhando nos serviços veterinários (Zepeda et al. 2005).

A AR é um processo governamental, desenvolvido para responder às questões formuladas pelos responsáveis pela gestão dos riscos identificados (Sant'ana & Franco 2009). Os desafios para o desenvolvimento de AR pelo SVO brasileiro ainda são grandes, destacando-se aqueles relacionados à falta de dados e de pessoal capacitado. Alternativas como a criação de um sistema web nacional de monitoria e vigilância e a formatação de parcerias com universidades e instituições de pesquisas (Corbellini et al. 2012, Hasler et al. 2012), no entanto, tornam possível evoluir na produção de dados e formação e capacitação de profissionais nessa área, objetivando que, em um futuro próximo, o SVO brasileiro possa realizar diversas AR de seu interesse, visando dar suporte aos gestores na implantação de políticas públicas na área da saúde animal, além de proteger a sanidade dos rebanhos nacionais.

**Agradecimentos.-** Ao Fiscal Estadual Agropecuário Fernando Henrique Sautter Groff pela análise, discussão e melhorias apontadas na construção desse artigo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro realizado pelo Edital CNPq/MAPA/SDA Nº 64/2008 processo 578781/2008-5.

## REFERÊNCIAS

- Acevedo P., Vicente J., Hofle U., Cassinello J., Ruiz-Fons F. & Gortazar C. 2007. Estimation of european wild boar relative abundance and aggregation: a novel method in epidemiological risk assessment. *Epidemiol. Infect.* 135(3):519-527.
- Almeida E.P.D. 2005. Técnicas de análise de risco aplicadas à planejamento e programação de projetos da construção civil. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niteroi. 163p.
- Amaral T.B. 2013. Risk assessment of Foot and Mouth Disease in the border between Brazil and Paraguay: a geographical approach. Tese de Doutorado, Université Laval, Quebec, Canada. 154p.

- AQIS 1999. Import risk analysis report on the importation of bovine semen and embryos from Argentina and Brazil into Australia. Disponível em <[http://www.daff.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0014/14324/00-003a.pdf](http://www.daff.gov.au/__data/assets/pdf_file/0014/14324/00-003a.pdf)> Acesso em 11 jan. 2014.
- Armstrong T.W. & Haas C.N. 2007. A quantitative microbial risk assessment model for Legionnaires' disease: animal model selection and dose-response modeling. *Risk Anal.* 27(6):1581-1596.
- Bier V.M. & Mosleh A. 1990. The analysis of accident precursors and near misses: implications for risk assessment and risk management. *Reliab. Eng. Syst. Safe.* 27(1):91-101.
- Boklund A., Goldbach S.G., Uttenthal A. & Alban L. 2008. Simulating the spread of classical swine fever virus between a hypothetical wild-boar population and domestic pig herds in Denmark. *Prev. Vet. Med.* 85(3/4):187-206.
- Brasil 2010. Instrução Normativa do Ministério da Pesca e Aquicultura N. 14 de 9 de dezembro de 2010. *Diário Oficial da União* de 10 dez. 2010, p.71.
- Brückner G.K. 2009. The role of the World Organisation for Animal Health (OIE) to facilitate the international trade in animals and animal products. *Onderstepoort J. Vet.* 76:141-146.
- CAC 1999. Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. CAC/GL-30. Disponível em <[http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/en/?no\\_cache=1](http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/en/?no_cache=1)> Acesso em 16 out. 2013.
- CAC 2007. Working Principles for Risk Analysis for Food Safety for Application by Governments. CAC/GL-62. Disponível em <[http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/en/?no\\_cache=1](http://www.codexalimentarius.org/standards/list-of-standards/en/?no_cache=1)> Acesso em 16 out. 2013.
- CAC 2011. Procedural Manual. 21 ed. Disponível em <[ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/ProcManuals/Manual\\_21e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/ProcManuals/Manual_21e.pdf)> Acesso em 16 out. 2013.
- Cahill S.M. & Jouve J.R. 2004. Microbiological risk assessment in developing countries. *J. Food Protect.* 67(9):2016-2023.
- Campbell M.L. 2008. Organism impact assessment: risk analysis for post-incursion management. *Ices J. Mar. Sci.* 65(5):795-804.
- Carr V. & Tah J.H.M. 2001. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system. *Adv. Eng. Softw.* 32(10/11):847-857.
- CJF 2013. Disponível em <<http://www.cjf.jus.br/cjf/outras-noticias/2013/junho/mantida-autorizacao-do-ministerio-da-pesca-para-importacao-de-camaroes-argentinos>> Acesso em 20 dez. 2013.

- Cohen N.E., Van Asseldolnk M.A.P.M. & Stassen E.N. 2007. Social-ethical issues concerning the control strategy of animal diseases in the European Union: a survey. *Agric. Human Values* 24:499-510.
- Corbellini L.G., Marks F. & Todeschini B. 2010. Panorama da influenza A pandêmica H1N1 em suínos: situação atual e avaliação dos riscos. *Acta Scient.Vet.* 38:46-52.
- Corbellini L.G., Pellegrini D.C., Dias R.A., Reckziegel A., Todeschini B. & Bencke G.A. 2012. Risk assessment of the introduction of H5N1 highly pathogenic avian influenza as a tool to be applied in prevention strategy plan. *Transbound Emerg. Dis.* 59(2):106-116.
- Covello V.T. & Merkhoher M. W. 1993. Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks. Plenum Press, New York. 319p.
- Cox Jr L.A. 2008. What's wrong with risk matrices? *Risk Anal.* 28(2):497-511.
- Cunha E.A.P., Delphino M.K.V.C, Blume L.R, Oliveira P.H.S. & Figueiredo H.C.P. 2012. Serviço veterinário oficial e análise de risco de importação em sanidade aquícola e Pesqueira. *Acta Scient. Vet.* 40(Supl.2):107.
- Delphino M.K.V.C. 2010. Avaliação do risco de difusão do vírus da febre aftosa em produtos suínos exportados pela região sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 73p.
- Dennis S.B., Kause J., Losikoff M., Engeljohn D.L. & Buchanan R.L. 2008. Using risk Analysis for microbial food safety regulatory decision making, p.137-175. In: D. Schaffer (Ed.), *Microbial Risk Analysis of Foods*. ASM Press, Washington, DC.
- Dewdney J.M., Maes L., Raynaud J.P., Blanc F., Scheid J.P., Jackson T., Lens S. & Verschueren C. 1991. Risk assessment of antibiotic residues of beta-lactams and macrolides in food products with regard to their immuno-allergic potential. *Food Chem. Toxicol.* 29(7):477-483.
- Dias R.A., Nogueira Filho V.S., Goulart C.S., Telles I.C.O., Marques G.H.F., Ferreira F., Amaku M. & Ferreira Neto J.S. 2011. Modelo de risco para circulação do vírus da raiva em herbívoros no Estado de São Paulo, Brasil. *Revta Panam. Salud Publica* 30(4):370-376.
- Dohoo I, Martin W.& Stryhn H. 2010. *Veterinary Epidemiologic Research*. Review Inc., Canada. 865p.
- Donaldson A.I., Alexandersen S., Sorensen J.H. & Mikkelsen T. 2001. Relative risks of the uncontrollable (airborne) spread of FMD by different species. *Vet. Rec.* 148(19):602-604.
- Dufour B., Plee L., Moutou F., Boisseleau D., Chartier C., Durand B., Ganiere J.P., Guillotin J., Lancelot R., Saegerman C., Thebault A., Hattenberger A.M. & Toma B. 2011. A qualitative risk assessment methodology for scientific expert panels. *Rev. Sci. Tech.* 30(3):673-681.

- Dutra, M.G.B. 2003. Avaliação qualitativa del riesgo de reintroducción de la fiebre aftosa en el estado de Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado em Saúde animal. Faculdade de Veterinária, Universidade de Murcia, Múrcia, España. 246p.
- EFSA 2010. Scientific opinion on a quantitative microbiological risk assessment of Salmonella in slaughter and breeder pigs. EFSA Journal 8(4). 80p. Disponível em <<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1547.htm>> Acesso em 7 out. 2013.
- Evans B. 2006. The social and political impact of animal diseases. Vet. Ital. 42(4):399-406.
- Everett W.D. 1981. Risk of coronary heart disease--risk analysis in the clinical practice of aerospace medicine using a programmable calculator. Aviat Space Environ. Med. 52(9):561-563.
- FAO/WHO 2002. Risk assessments of Salmonella in eggs and broiler chickens. Microbiological Risk Assessment Series no.2. Joint FAO/WHO activities on microbiological risk assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FDA/FSIS 2003. Quantitative assessment of the relative risk to public health from foodborne *Listeria monocytogenes* among selected categories of read-to-eat foods. Disponível em <<http://www.fda.gov/downloads/food/scienceresearch/researchareas/riskassessments/afetyassessment/ucm197330.pdf>> Acesso em 16 out. 2013.
- Ferreira F. 2000. Dinâmica especial da Febre Aftosa em bovinos: um modelo matemático. Tese de Doutorado em Epidemiologia, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. 82p.r
- Figueiredo A.V.A & Miranda M.S. 2011. Análise de risco aplicada aos alimentos no Brasil: perspectivas e desafios. Ciênc. Saude Coletiva 16 (4):2251-2262.
- Figueiredo H.C.P., Cunha E.A.P., Delphino M.K.V.C., Blume L.R., Machado D.P. & Oliveira P.H.S. 2012a. Análise de Risco de Importação: alevinos da espécie *Oreochromis niloticus* (Tilápia do Nilo) originários de aquicultura de Singapura, destinados à multiplicação animal. Ministério da Pesca e Aquicultura, Brasília. 135p.
- Figueiredo H.C.P., Cunha E.A.P., Delphino M.K.V.C. & Blume L.R. 2012b. Análise de Risco de Importação: camarões congelados da espécie *Pleoticus muelleri* originários de pesca extrativa da Argentina, destinados ao consumo humano. Ministério da Pesca e Aquicultura, Brasília. 46p.
- Figueiredo H.C.P., Cunha E.A.P., Delphino M.K.V.C. & Blume L.R., Machado D.P. & Oliveira P.H.S. 2012c. Análise de Risco de Importação: metodologia básica. Ministério da Pesca e Aquicultura, Brasília. 34p.
- Frossling J., Ohlson A., Bjorkman C., Hakansson N. & Noremark M. 2012. Application of network analysis parameters in risk-based surveillance: examples based on cattle trade data and bovine infections in Sweden. Prev. Vet. Med. 105(3):202-208.

- Ge L., Mourits M.C., Kristensen A.R. & Huirne R.B. 2010. A modelling approach to support dynamic decision-making in the control of FMD epidemics. *Prev. Vet. Med.* 95(3/4):167-174.
- Hasler B., Howe K.S., Hauser R. & Stark K.D. 2012. A qualitative approach to measure the effectiveness of active avian influenza virus surveillance with respect to its cost: a case study from Switzerland. *Prev. Vet. Med.* 105(3):209-222.
- Hauser R., Breidenbach E., Thür B., Griot C., Engels M. & Stärk K. 2004. Import risk analysis in animal disease control. *Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr.* 117(5/6):188-192.
- Havas K.A., Ramishvili M., Navdarashvili A., Imnadze P. & Salman M. 2012. The human-animal interface of domestic livestock management and production and its relationship to brucellosis in the country of Georgia 2010: a rapid assessment analysis. *Prev. Vet. Med.* 105(1/2):10-16.
- Lane C., Tameru B., Nganwa D., Habtemariam T., Asseged B., Robnett V. & Wilson S. 2010. A quantitative risk assessment for the likelihood of introduction of highly pathogenic avian influenza virus strain H5N1 into U.S. hunter retriever dogs. *Avian Dis.* 54(Suppl.1):699-706.
- Leanes L.F., Abbiati N.N., Pereyra A.M. & Maizon D.O. 2011. Risk evaluation of nonvaccinated, weaned calves transported through areas under systematic foot and mouth disease (FMD) vaccination. *Prev. Vet. Med.* 98(2/3):133-141.
- MacDiarmid S.C. 1993. Risk analysis and the importation of animals and animal products. *Rev. Sci. Tech.* 12(4):1093-1107.
- MacDiarmid S.C. & Pharo, H. 2003. Risk analysis: assessment, management and communication. *Rev. Sci. Tech.* 22(2):397-408.
- Maia E.P. & Rocha I.P. Contestação da ABCC ao documento análise de risco de importação (ARI): Camarões congelados da espécie *Pleoticus muelleri* da Argentina, destinados ao consumo humano, realizada pela CGSAP/MPA com solicitação de sua definitiva revogação. Disponível em <<http://abccam.com.br/site/documentos-relacionados-ao-pedido-administrativo-de-anulacao-da-ari/>> Acesso em 12 dez. 2013.
- MAPA 1993. Portaria nº 121 de 30 de março de 1993. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 1994. Portaria nº 194 de 29 de novembro de 1994. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 1997. Portaria nº 050 de 19 de maio de 1997. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.

- MAPA 2001a. Instrução Normativa nº 01 de 4 de janeiro de 2001. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2001b. Instrução Normativa nº 35 de 010 de Julho de 2001. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2006. Análise de Risco para Encefalopatia Espongiforme Bovina no Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília. 41p.
- MAPA 2007. Instrução Normativa nº 044 de 2 de outubro de 2007. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2009. Norma Interna nº 05 de 21 de agosto de 2009. Disponível em <<http://www.iagro.ms.gov.br/controle/ShowFile.php?id=45423>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2010. Instrução Normativa nº 06 de 22 de fevereiro de 2010. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2012. Instrução Normativa nº 036 de 6 de dezembro de 2012. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013a. Instrução Normativa nº 033 de 19 de agosto de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013b. Instrução Normativa nº 034 de 5 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013c. Instrução Normativa nº 035 de 6 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013d. Instrução Normativa nº 036 de 6 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013e. Instrução Normativa nº 037 de 10 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013f. Instrução Normativa nº 038 de 10 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.

- MAPA 2013g. Instrução Normativa nº 039 de 10 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- MAPA 2013h. Instrução Normativa nº 040 de 10 de setembro de 2013. Disponível em <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> Acesso em 27 jan. 2014.
- Marabelli R. 2003. The role of official Veterinary Services in dealing with new social challenges: animal health and protection, food safety, and the environment. *Rev. Sci. Tech.* 22(2):363-371.
- Markowski A.S. & Mannan M.S. 2008. Fuzzy risk matrix. *J. Hazard Mater.* 159:152-157.
- Martinez-Lopez B., Perez A.M., De la Torre A. & Rodriguez J.M. 2008. Quantitative risk assessment of foot-and-mouth disease introduction into Spain via importation of live animals. *Prev. Vet. Med.* 86(1/2):43-56.
- Martinez-Lopez B., Perez A.M. & Sanchez-Vizcaino J.M. 2009. A stochastic model to quantify the risk of introduction of classical swine fever virus through import of domestic and wild boars. *Epidemiol. Infect.* 137(10):1505-1515.
- McElvaine M.D., McDowell R.M., Fite R.W. & Miller L. 1993. An assessment of the risk of foreign animal disease introduction into the United States of America through garbage from Alaskan cruise ships. *Rev. Sci. Tech.* 12(4):1165-1174.
- Medeiros A.A.R., Santos D.V. & Corbellini L. G. 2012. Análise de risco da Exposição dos Javalis asselvajados à população de suínos comerciais do Rio Grande do Sul. 2012. Anais III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticínios, Bento Gonçalves-RS.
- Miller L., McElvaine M.D., McDowell R.M. & Ahl A.S. 1993. Developing a quantitative risk assessment process. *Rev. Sci. Tech.* 12(4):1153-1164.
- Moutou F., Dufour B. & Ivanov Y. 2001. A qualitative assessment of the risk of introducing foot and mouth disease into Russia and Europe from Georgia, Armenia and Azerbaijan. *Rev. Sci. Tech.* 20(3):723-730.
- MPA 2013. Disponível em<[http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Monitoramento\\_e\\_Control/IMPORTACAO/Quadro%20de%20Processos%20de%20ARI%20-%2017.07.2013.pdf](http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Monitoramento_e_Control/IMPORTACAO/Quadro%20de%20Processos%20de%20ARI%20-%2017.07.2013.pdf)> Acesso em 26 nov. 2013.
- Mur L., Martinez-Lopez B., Martinez-Aviles M., Costard S., Wieland B., Pfeiffer D.U. & Sanchez-Vizcaino J.M. 2012. Quantitative risk assessment for the introduction of African swine fever virus into the European Union by legal import of live pigs. *Transbound Emerg. Dis.* 59(2):134-144.
- Murmann L., Corbellini L.G., Collor A.A. & Cardos M. 2011. Quantitative risk assessment for human salmonellosis through the consumption of pork sausage in Porto Alegre, Brazil. *J. Food Prot.* 74(4):553-558.

- Murray N., MacDiarmid S.C., Wooldridge M., Gummow B., Morley R.S., Weber S.E., Giovannini A. & Wilson D. 2004. Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products: introduction and qualitative risk analysis. OIE, Paris.
- Napp S., Casas M., Moset S., Paramio J.L. & Casal J. 2010. Quantitative risk assessment model of canine rabies introduction: application to the risk to the European Union from Morocco. *Epidemiol. Infect.* 138(11):1569-1580.
- Nauta M.J., 2000. Separation of uncertainty and variability in quantitative microbial risk assessment models. *Int. J. Food Microbiol.* 57:9-18.
- Neeliah S.A. & Goburdhun D. 2010. Complying with the clauses of the SPS agreement: Case of developing country. *Food Control* 21:902-911.
- Ni H., Chen A. & Chen N. 2010. Some extensions on risk matrix approach. *Safety Sci.* 48:1269-1278.
- Nogueira J.M, Doliveira, C.F.D. & Burer, S.P. 2011. Relatório Final: análise custo benefício de estratégias de controle da febre aftosa no Paraná. FAEP, Curitiba. 154p.
- OIE 2006. Análisis de Riesgo: guía práctica, World Animal Health Organization, Paris. 60p.
- OIE 2012a. Aquatic Animal Health Code (the Aquatic Code). Paris, OIE. Disponível em <<http://www.oie.int/international-standard-setting/aquatic-code/access-online/>> Acesso em 29 jan. 2013.
- OIE 2012b. Terrestrial Animal Health Code (Terrestrial Code). 21st ed. Paris. 739p.
- OIE 2013a. Disponível em <[http://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/Wahidhome/Home](http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Wahidhome/Home)> Acesso em 29 abr. 2013.
- OIE 2013b. Disponível em <<http://www.oie.int/about-us/>> Acesso em 29 abr. 2013.
- Oliveira M.L.B.R. 2013. Avaliação de risco para a importação de filés de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), congelados, originários de aquicultura do Peru, destinados ao consumo humano. Monografia de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, Brasília. 56p.
- Ortiz-Pelaez A., Pfeiffer D.U., Soares-Magalhaes R.J. & Guitian F.J. 2006. Use of social network analysis to characterize the pattern of animal movements in the initial phases of the 2001 foot and mouth disease (FMD) epidemic in the UK. *Prev. Vet. Med.* 76(1/2):40-55.
- Palmer S., Brown D. & Morgan D. 2005. Early qualitative risk assessment of the emerging zoonotic potential of animal diseases. *BMJ.*331(7527):1256-1260.
- Paton D.J., Sinclair & M., Rodriguez R. 2010. Qualitative assessment of the commodity risk for spread of foot-and-mouth disease associated with international trade in deboned beef. *Transbound Emerg. Dis.* 57(3):115-134.



- Pintelon L. 1994. Risk: analysis, assessment and management. Ansell J. & Wharton F. Eur. J. Operational Res. 78(1):142-142.
- Pouillot R., Garin B., Ravaonindrina N., Diop K., Ratsitorahina M., Ramanantsoa D. & Rocourt J. 2012. A risk assessment of Campylobacteriosis and Salmonellosis linked to chicken meals prepared in households in Dakar, Senegal. Risk Anal. 32(10):1798-1819.
- Reij M.W. & Schothorst M. V. 2000. Critical notes on microbiological risk assessment of food. Braz. J. Microbiol. 31:01-08.
- Salman M.D., Gonçalves V.S.P & Wongsathapornchai K. 2006. Risco de introdução da febre aftosa através da importação de produtos suínos do Brasil: Avaliação de riscos. Disponível em <[http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/abipecs\\_aftosa.pdf](http://file.aviculturaindustrial.com.br/Material/Tecnico/abipecs_aftosa.pdf)> Acesso em 22 dez. 2013.
- Sanchez-Vizcaino F., Perez A., Lainez M. & Sanchez-Vizcaino J.M. 2010a. A quantitative assessment of the risk for highly pathogenic avian influenza introduction into Spain via legal trade of live poultry. Risk Anal. 30(5):798-807.
- Sanchez-Vizcaino F., Perez A., Lainez M. & Sanchez-Vizcaino J.M. 2010b. Quantification of the risk for introduction of virulent Newcastle disease virus into Spain through legal trade of live poultry from European Union countries. Avian Pathol. 39(6):459-465.
- Sant'ana A.S. & Franco B.D.G.M. 2009. Avaliação quantitativa de risco microbiológico em alimentos: conceitos, sistemática e aplicações. Braz. J. Food Technol. 12(4):226-276.
- Santos D.V., Vidor A.C.M. & Corbellini L.G. 2012. O fortalecimento do serviço veterinário oficial gaúcho mediante acordo de cooperação técnica com a universidade federal do Rio Grande do Sul. Anais III Congresso Sul Brasileiro de Avicultura, Suinocultura e Laticíneos, Bento Gonçalves-RS.
- Santos D.V., Groff F.H.S., Todeschini B., Canal C.W. & Corbellini L.G. 2013a. Análise de risco da introdução do vírus da Febre Aftosa no Estado do Rio Grande do Sul. Biológico, São Paulo, 75:31-31.
- Santos D.V., Correa A.M.R., Medeiros A.A.R., Kohek Junior I., Todeschini B. & Corbellini L.G. 2013b. A importância da aproximação entre o Serviço Veterinário Oficial e a Universidade. Anais IV Conferência Nacional sobre Defesa Agropecuária, Belém-PA.
- Schaffner D.W. 2008. Microbial Risk Analysis of Foods. ASM Press, Washington, DC.
- Schijven J., Rijs G.B. & Roda Husman A.M. 2005. Quantitative risk assessment of FMD virus transmission via water. Risk Anal. 25(1):13-21.
- Silverglade B.A. 2000. The WTO Agreement on Sanitary and Phytosanitary Measures: weakening food safety regulations to facilitate trade? Food Drug Law J. 55:517-524.

- Thiermann A.B. 2005. Globalization, international trade and animal health: the new roles of OIE. *Prev. Vet. Med.* 67:101-108.
- Uhlenhopp E.K. 2002. Bio-terrorism and the need for veterinary services in a global society: risk analysis, hazard analysis and critical control points (HACCP). *Livest. J. Vet. Med. Educ.* 29(4):212-215.
- Urbina-Amaris M.E. 2003. The role of a specialised risk analysis group in the Veterinary Services of a developing country. *Rev. Sci. Tech.* 22(2):587-595.
- USDA/FSIS 1999. Performance Standards for the Production of Certain Meat and Poultry Products. Disponível em <<http://www.fsis.usda.gov/wps/portal/frame-redirect?url=http://www.fsis.usda.gov/OPPDE/rdad/FRPubs/95-033F.htm>> Acesso em 8 out. 2013.
- USDA/FSIS 2005. Risk Assessment of the Impact of Lethality Standards on Salmonellosis from Ready-to-Eat Meat and Poultry Products. Disponível em <[http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/ace90cc5-2be2-4fa3-9ed5-2b186cae976c/Salm\\_RTE\\_Risk\\_Assess\\_ExecSumm\\_Sep2005.pdf?MOD=AJPERES](http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/ace90cc5-2be2-4fa3-9ed5-2b186cae976c/Salm_RTE_Risk_Assess_ExecSumm_Sep2005.pdf?MOD=AJPERES)> Acesso em 16 out. 2013.
- Vallat B. & Wilson D.W. 2003. The obligations of Member Countries of the OIE (World Organisation for Animal Health) in the Organisation of Veterinary Services. *Rev. Sci. Tech.* 22(2):547-559.
- WHO 1995. Agreement on the application of sanitary and phytosanitary measures. In The results of the Uruguay Round of Multilateral Trade Negotiations: the legal texts. World Trade Organization, Geneva.
- WHO 2013. Disponível em <<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/NEWS/0,,contentMDK:20954941~pagePK:64257043~piPK:437376~theSitePK:4607,00.html>> Acesso em 29 abr. 2013.
- WHO/FAO 2005. Understanding the Codex Alimentarius. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/008/y7867e/y7867e00.HTM>> Acesso em 16 out. 2013.
- Willeberg P., Nielsen L.R. & Salman M. 2012. Designing and evaluating risk-based surveillance systems: Potential unwarranted effects of applying adjusted risk estimates. *Prev. Vet. Med.* 105(3):185-194.
- Yu P., Habtemariam T., Wilson S., Oryang D., Nganwa D., Obasa M. & Robnett V. 1997. A risk-assessment model for foot and mouth disease (FMD) virus introduction through deboned beef importation. *Prev. Vet. Med.* 30(1):49-59.
- Zepeda C., Salman M. & Ruppanner R. 2001. International trade, animal health and veterinary epidemiology: challenges and opportunities. *Prev. Vet. Med.* 48:261-271.
- Zepeda C., Salman M., Thiermann A., Kellar J., Rojas H. & Willeberg P. 2005. The role of veterinary epidemiology and veterinary services in complying with the World Trade Organization SPS agreement. *Prev. Vet. Med.* 67:125-140.

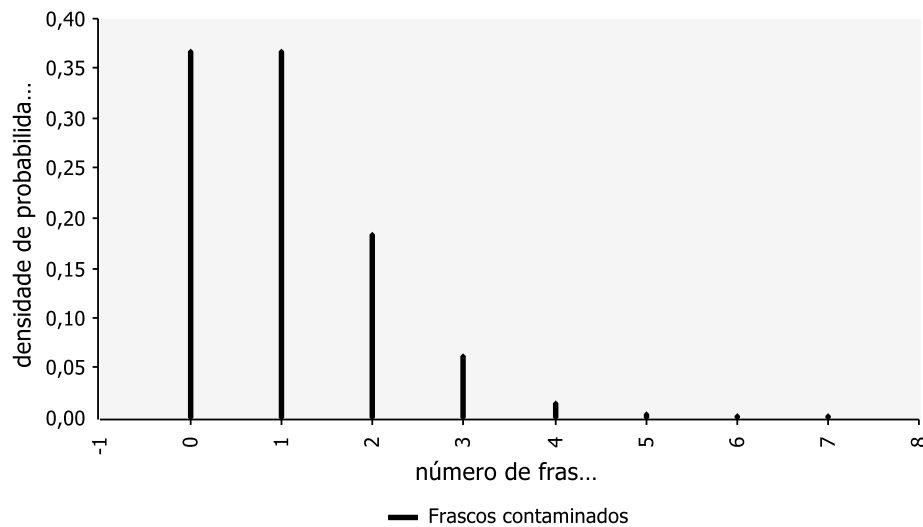


Figura 1 - Exemplo de aplicação de distribuição de probabilidades comumente aplicada em análise de risco quantitativa numa situação hipotética de importação de 5.000 frascos de sêmen suíno por mês. Se no país de origem a prevalência média de PRRS no sêmen é de 0,02%, haveria 98,1% probabilidade de cada lote conter entre 0 a 3 frascos contaminados por mês. O gráfico ilustra a distribuição de probabilidade binomial (5.000; 0.02%) depois de realizada simulação de Monte Carlo com 10.000 iterações.

		Probabilidade de introdução						
		Categorização	Insignificante	Extremamente baixa	Muito baixa	Baixa	Ligeira	Moderada
Probabilidade de exposição	Alta	I	EB	MB	B	L	M	A
	Moderada	I	EB	MB	B	L	M	M
	Ligeira	I	I	EB	MB	B	L	L
	Baixa	I	I	I	EB	MB	B	B
	Muito Baixa	I	I	I	I	EB	MB	MB
	Extremamente baixa	I	I	I	I	I	EB	EB
	Insignificante	I	I	I	I	I	I	I
Legenda: I = Insignificante; EB = Extremamente baixa; MB = Muito baixa; B = Baixa; L = Ligeira; M = Moderada; A = Alta								

Figura 2 - Matriz para a Categorização da Probabilidade de Ocorrência (adaptado de OIE 2006).

		Consequências*					
		Categorização	Insignificantes	Muito baixas	Baixas	Moderadas	Altas
Probabilidade de ocorrência	Alta	I	MB	B	M	A	E
	Moderada	I	MB	B	M	A	E
	Ligeira	I	MB	B	M	A	E
	Baixa	I	I	MB	B	M	A
	Muito Baixa	I	I	I	MB	B	M
	Extremamente baixa	I	I	I	I	MB	B
	Insignificante	I	I	I	I	I	MB

Legenda: I = Insignificantes; MB = Muito baixas; B = Baixas; M = Moderadas; A = Altas; E= Extremas

\* A linha mais espessa marca o limite abaixo do qual todos os resultados de risco são considerados insignificantes

Figura 3 - Matriz da Estimação do risco (adaptado de OIE 2006).

**Quadro 1. Análises e avaliações de risco publicadas com temas relacionados ao serviço veterinário oficial do Brasil**

Ano	Classificação / Tipo	Foco	Participação do SVO	Risco Avaliado	Autores
2003	Avaliação de risco / Qualitativa	Avaliar a reintrodução do vírus da febre aftosa no RS	Sim; parcialmente	Utilizando opinião de experts avaliou que o maior risco de reintrodução do vírus está associado ao trânsito ilegal de animais	Dutra 2003
2006	Avaliação de risco - ARI / Quantitativa	Avaliar a introdução do vírus da febre aftosa através da importação de produtos suínos do Brasil	Não	$2,40 \times 10^{-8}$ de que uma carga de 100 ton. de carne suína contaminada pelo vírus da febre aftosa seja exportada	Salman et al 2006
2006	Análise de risco / Qualitativa e Quantitativa	Avaliar a presença de Encefalopatia Espongiforme Bovina no Brasil	Sim, parcialmente	Muito baixo, sendo que as atuais medidas de mitigação de risco praticamente inviabilizam a amplificação do agente	MAPA 2006
2010	Avaliação de risco - ARI / Quantitativa	Avaliar a difusão do vírus da febre aftosa em produtos suínos exportados pela região Sul do Brasil	Não	$6,03 \times 10^{-5}$ de que no volume total de exportação pelo menos uma granja selecionada esteja infectada	Delphino 2010
2011	Avaliação de risco / Qualitativa	Avaliar áreas de risco elevado para a ocorrência de raiva herbívora na região do Vale do Rio Paraíba do Sul - SP	Sim; parcialmente	81,8% dos focos de raiva foram adequadamente previstos pela avaliação de risco realizada.	Dias et al 2011
2011	Avaliação de risco - ARM / Quantitativa	Avaliar a infecção por <i>Salmonella</i> em consumidores após ingestão de Linguíça frescal	Não	$1,61 \times 10^{-3}$	Mürmann et al 2011
2012	ARI / Qualitativa	Camarões congelados originários da Argentina para consumo Humano	Sim; exclusivamente	Nenhum perigo identificado	Figueiredo et al 2012b
2012	ARI / Qualitativa	Alevinos de Tilápia do Nilo originários de aquicultura	Sim; exclusivamente	Aceitável mediante o cumprimento de requisitos zoonosológicos	Figueiredo et al 2012a
2012	Análise de risco / Qualitativa	Avaliar a introdução do vírus da Influenza aviária H5N1 no RS através de aves migratórias	Sim; parcialmente	Maior do que desprezível (muito baixo)	Corbellini et al 2012
2013	Avaliação de risco / Qualitativa	Avaliar a introdução do vírus da febre aftosa no Mato Grosso do Sul através da fronteira com o Paraguai	Sim; parcialmente	Diferentes cenários e regiões avaliadas e foram identificadas áreas/municípios de maior risco de introdução do vírus	Amaral 2013
2013	Avaliação de risco - ARI / Qualitativa	Filés de Truta Arco-íris congelados do Peru para consumo humano	Não	Insignificante para as doenças virais e parasitária (girodactilose)	Oliveira 2013

## **ARTIGO 2 – IDENTIFICATION OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE RISK AREAS USING MULTI-CRITERIA ANALYSIS APPROACH<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo a ser submetido para a revista científica *Transboundary and Emerging Diseases*. A formatação do artigo segue as normas da revista em que ele será submetido. Esse estudo utilizou a análise de múltiplos critérios, como uma ferramenta de avaliação de riscos, para determinar as áreas de risco para a ocorrência da febre aftosa no Rio Grande do Sul e contrapor com as ações de vigilância realizadas nessas áreas, podendo servir como uma ferramenta para auxiliar os gestores na área de defesa sanitária animal no RS.

Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach

Running Head: FMD risk areas identification

D.V. Santos<sup>1,2</sup>, G.S. Silva<sup>2</sup>, E.J. Weber<sup>3</sup>, H. Hasenack<sup>3</sup>, F.H.S. Groff<sup>4</sup>, B. Todeschini<sup>1,2</sup>, M.R. Borba<sup>2</sup>, A.A.R. Medeiros<sup>2,4</sup>, V.B.L. Torman<sup>5</sup>, C.W. Canal<sup>6</sup>, L.G. Corbellini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Secretaria de Defesa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estrada da Ponta Grossa, 3036 - CEP: 91780-580, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>2</sup>Laboratório de Epidemiologia Veterinária (EPILAB), Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9090, CEP 91540-000, Porto Alegre, Brazil.

\* Corresponding author: Luís Gustavo Corbellini- Phone: +55 51 3308 6123 Fax: +55 51 3308 7305 E-mail address: [luis.corbellini@ufrgs.br](mailto:luis.corbellini@ufrgs.br) (L.G. Corbellini).

<sup>3</sup>Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO), Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 43411, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>4</sup> Departamento de Defesa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação do Estado do Rio Grande do Sul. Av. Getúlio Vargas, 1384, CEP: 90150-004, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>5</sup> Departamento de Estatística, Instituto de Matemática - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 43111, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brazil.

<sup>6</sup> Laboratório de Virologia, Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves 9090, CEP 91540-000, Porto Alegre, Brazil.

Place where this work was carried out: State of Rio Grande do Sul, Brazil.



## Summary

Foot and Mouth Disease (FMD) is a global disease which affects cloven-hooved livestock and wildlife. This contagious viral disease has been struggled over for decades leading to various measures to control, eradicate and prevent it by National Veterinary Services worldwide. Nowadays, risk areas identification may be set as a priority to FMD target surveillance after a given country or region become free of FMD. In our study, a knowledge-driven spatial model was built to identify risk areas for FMD occurrence and to evaluate FMD surveillance performance in Rio Grande do Sul State, Brazil. For this purpose, Multi-criteria Decision Analysis was used as a tool to seek multiple and conflicting criteria, resulting in a preferred course of action. Thirteen South American experts analyzed 18 variables of the model associated with FMD introduction and dissemination pathways in Rio Grande do Sul. As a result, FMD higher risk areas were identified at international borders and in the central region of the State. A final model accuracy was obtained after contrasted to historical FMD outbreaks. The current FMD surveillance performance was assessed and recommendations are made to improve surveillance activities in critical areas.

**Keywords:** FMD; epidemiology; risk analyses; MCDA; Animal Health.

## **Introduction**

Foot and Mouth Disease (FMD) is a highly contagious viral disease which affects all cloven-hoofed animals. The presence of the disease has been studied since the sixteenth century in many countries (Fracastorius, 1546) and it leads to severe economic losses (Olascoaga et al., 1999). FMD was the first disease in which the World Organization for Animal Health (OIE) established an official list of free countries and zones (OIE, 2016).

In South America, countries used to have a high number of FMD outbreaks until the 1990's (Panaftosa, 2010). Fortunately, this scenario has changed, and an absence of FMD outbreaks during the last four years has been found in this zone (FAO, 2015). At present days, South American countries are classified according OIE regulations (OIE, 2015) as FMD free with vaccination (Uruguay), FMD free without vaccination (Chile and Guyana), FMD free zones with vaccination (Argentina, Bolivia, Brazil, Colombia, Peru, and Ecuador) and FMD free zones without vaccination (Argentina, Bolivia, Brazil, Colombia, and Peru). However, small areas in the continent are still not yet classified by OIE with an official FMD status. These regions are parts from Venezuela, Suriname and Brazil (States of Amapá and the majority of Amazonas), where it may still be considered an endemic zone, although clinical cases are rarely reported.

FMD has a serious impact on these countries, therefore an annual meeting on this subject has been taking place for 43 years, where specialists from South American countries gather to assess and discuss progresses made by national governments. The progresses and challenges in South America FMD Program have been discussed at great length in these seminars (Panaftosa, 2016). For instance, the FMD vaccination stoppage is one of the most important questions on this matter: the economic consequences involved in stopping cattle vaccination and how animal products from free zones without

FMD vaccination may access new markets has to be analyzed, owing to its significant impact on livestock business for South American countries and other nations (Mapa, 2015). The results obtained in this study may contribute to these discussions.

Southern Brazil is composed by three states, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. All of these, except Santa Catarina, are FMD free zones with vaccination. In the State of Rio Grande do Sul (RS), the region encompassed in this study, FMD was endemic until 1993 and after 30 years of FMD vaccination program (Mapa, 1964) the region was recognized as FMD free with vaccination in May/1998 by OIE. In 2000, RS began a vaccination stoppage process, however, soon after that, the State had two FMD outbreaks in August/2000 and May/2001 (OIE, 2015). Consequently, and since then, FMD vaccination was maintained, which helped to keep RS free from outbreaks. Nowadays, the main concern is the fact that even though RS is considered FMD free, the FMD virus has never disappeared from South America and because of it there is a debate on vaccination stoppage combined with target surveillance actions in suitable areas.

In this sense, risk identification methods can aid in developing surveillance strategies by the veterinary services, especially for highly transmissible diseases. The aim of this study was creating a spatial knowledge-driven model, based on Multi-criteria Decision Analysis (MCDA), which may identify risk areas for FMD occurrence in RS. In addition, the current FMD surveillance was evaluated and compared across identified FMD high risk areas and recommendations are made to improve surveillance activities in critical zones.

## **Material and methods**

### *Study area*

This study was conducted in the State of Rio Grande do Sul / Brazil due to its importance for local agribusiness. One third of the gross domestic product (GDP) in RS is directly related to this sector, where cattle production is centenary and extremely significant, with approximately 400 thousand families involved in it. The State has an important animal population of 14 million cattle, 6 million swine and 4 million sheep (Seapi, 2013) and its territory has a total area of 268,781.896 km<sup>2</sup> situated between the latitudes of 27°04'S to 33°45'S and the longitudes of 49°41'W to 57°38'W. The RS climate is humid subtropical with relative humidity up 60% for most of the year. The state is divided into seven mesoregions, as defined by Brazilian Government to subdivide this state based on environmental, social, and economic criteria (IBGE, 2010). It has an extensive and peaceful international border neighbouring Uruguay in the South (1,003 km) and Argentina in the West (724 km). Moreover, Rio Grande do Sul is bordered to the North by the Brazilian State of Santa Catarina and to the East by the Atlantic Ocean (Figure1).

### *Model Structure*

The knowledge-driven spatial model, based on multi criteria decision analysis (MCDA), built using Idrisi 17.0 Selva GIS and Image Processing Software (©Clark Labs). In our study, data sources were used to generate raster layers with resolution of 1 km x 1 km or polygon layers. The list, sources, type of data and variables used in this study are presented in the Supplementary Material.

The process of the FMD occurrence in RS was divided into four steps (East et al. 2013), as follows:

- Introduction – the entry of the FMD virus in RS;

- Exposure – the infection of the first FMD susceptible animal (amount of virus which can cause first animal infection);
- Establishment – infection of the first group (herd) of FMD susceptible animals;
- Spread – infection of the second and subsequent groups of FMD susceptible animals.

In this study, introduction and exposure were combined together for analysis purposes and were named Introduction Module, which is composed by four pathways (PI, Table 1). Similarly, establishment and spread were also combined and were called as Dissemination Module, which is composed by three pathways (PD, Table 2). Beyond that, for each pathway in each module, several risk factors (RF) were described (Table 3 and Table 4).

The possible FMD introduction and dissemination pathways were established after analyzing all FMD outbreaks investigations reported worldwide since 1996 to 2012 and published on OIE websites (OIE 2013; OIE 2016). Moreover, other FMD outbreaks publications (Valarcher et al., 2008; Park et al., 2013; Brito et al., 2015) and unpublished data from the Brazilian Official Veterinary Service (OVS) were evaluated. In order to facilitate this analysis, a scenario tree showing FMD introduction pathways was built and it is presented in the Supplementary Material.

FMD introduction by legal products and animal movement via importation of live animals, animal products, genetic material, vaccine or biological agents were considered pathways with a negligible likelihood and were not considered further in the analysis due to laboratory tests and quarantine routinely executed according to the Brazilian Veterinary Surveillance Program for Vesicular Diseases (Mapa, 2007). FMD introduction through wildlife was considered a pathway with negligible likelihood as it has never been reported in South America, beyond the fact that the main wildlife species involved with FMD outbreaks are exotic and only exist in the continent in captivity (OIE, 2012). Despite

several FMD outbreaks resulted of laboratory escape (Valarcher et al., 2008; Brito et al., 2015), this pathway was considered a negligible likelihood as it is prohibited to manipulate FMD virus in RS laboratories since 1994 (Mapa, 1994). On the other hand, illegal importation of animals (PI1) or animal products (PI2), introduction by fomites (PI3) and bioterrorism (PI4) were considered non-negligible introduction pathways into RS. The relevant pathways involved in FMD dissemination were direct contact (PD1), fomites/products/vehicles (PD2) and windborne spread (PD3).

Risk factors are the variables which might be associated with FMD introduction and dissemination. The variables were identified by literature review (unpublished data from the Brazilian OVS (Olascoaga et al., 1999; East et al., 2013; Martínez-López et al., 2014) and were considered on the building of spatial data layers.

*Pathways and risk factors values and experts' opinions on its weight*

The model utilized 18 different risk factors (variables) associated with introduction and dissemination pathways and other four variables to design the FMD Surveillance Performance (SP). In the Supplementary Material, a list of variables and their relative importance in the model are shown.

To expert eliciting process, we utilized a snowball sampling process (Erickson, 1979) to select the FMD experts. This study considered a FMD expert a professional who fits in at least one of the following criteria:

- 1) Having any publication on FMD topic in the past 10 years in an indexed journal;
- 2) Have worked in the management of at least one FMD outbreak in South America in the past 30 years;
- 3) Have experience in international organizations related to FMD control, eradication and prevention;
- 4) Have experience in control, eradication and prevention of FMD in the OVS.

The initial group of FMD experts who participated in the snowball sampling was elected in a meeting with the Chief Veterinary Officer of Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply for RS and the Chief Veterinary Officer of Secretariat of Agriculture, Livestock and Irrigation of RS. FMD experts which met the criteria were contacted by email and invited to indicate up to three FMD experts to take part on the study, who should also be selected according to the previous mentioned criteria (snowball approach). The experts indicated by those first ones received a 10 matrices-file (Microsoft Excel 2010<sup>®</sup>), grouped into three main categories: introduction pathways and risk factors; dissemination pathways and risk factors and FMD Surveillance Performance. These experts were requested to weigh all risk factors and pathways of the model using matrices which were previously tested by two non-participating FMD experts.

The weighting procedure follows the algorithm developed by Saaty (1977) under the Analytical Hierarchy Process (AHP), being performed through a series of pairwise comparisons of the relative importance of factors and pathways. These pairwise comparisons were analyzed to produce a set of weights that sum to 1. Only consistent responses of the AHP were considered (Saaty, 1977). The average weight value of all experts for risk factors and pathways were used as an input for the model. By the end of this stage a Delphi-like approach (Hsu and Sandford, 2007) was applied to obtain feedback from the experts by providing an anonymous summary of the average results of the group and allowing them to revise their individual evaluation (Cox et al., 2012). Copies of the invitation letters to experts and of the matrices file are available by request to the author.

The four pathways of FMD introduction and three pathways of FMD dissemination with respective weighting by expert elucidation are described in Table 1 and Table 2. All data layers used in the model and associated to FMD introduction and

FMD dissemination with the respective weigh given by the experts are described in Table 3 and Table 4.

The model was composed by layers in which the values can be spatially evaluated and compared. These layers represent the combination of risk factors values and weights with the associated introduction and dissemination pathways which were weighted by the expert opinion approach. Within each data layer, the highest score was classified as 1 (e.g. number of cattle movement, proximity to international border, etc.) and the others were adjusted according to this base on a linear scale from 0 to 1 in relation to the highest value.

#### *Data*

Initial data sets were plotted as points or polygons by Idrisi 17.0 Selva depending on a particular data set available. The majority of animal data was obtained from regional OVS and literature (Silva et al., 2013; Silva et al., 2014; Santos and Hein, 2014). The whole list of data layers used and their sources are included in the Supplementary Material. Each vector map was converted to raster format using a 1 km × 1 km spatial resolution. Proximity of international border map was created with Idrisi 17.0 Selva® calculating the inverse of the value in each grid cell.

#### *Combination of pathways*

The methodology used in this study to combine risk factors and pathways was described by East et al. (2013). Afterward, the likelihood of introduction was calculated separately from likelihood of dissemination. The two measures were subsequently combined multiplicatively, resulting in likelihood of FMD occurrence.

The contributions of data layers to introduction and dissemination pathways likelihood scores were considered to be additive (Eq. 1 and Eq. 2). In each grid cell of the likelihood maps, the likelihood score for a given pathway was compiled by combining



the data values for each risk factor, weighted by its assigned importance weighting (Eq. 1 and 2). In this process it was primarily needed to rescale the data values for the risk factor (over all grid cells) to the range from 0 to 1 (adapted from East et al., 2013).

$$PI_j = \sum_{i=1}^I (RFI_i \times W\_RFI_i) \quad (1)$$

Where  $PI_j$  represents the likelihood score for introduction pathway  $j$ ;  $RFI_i$  is the applicable value for the  $i$ -th of  $I$  risk factor variables applying to introduction pathway  $j$ , and  $W\_RFI_i$  is the  $i$ -th risk factor relative importance weighting within pathway  $j$ .

$$PD_l = \sum_{k=1}^K (RFD_k \times W\_RFD_k) \quad (2)$$

where  $PD_l$  represents the likelihood score for dissemination pathway  $l$ ;  $RFD_k$  is the applicable value for the  $k$ -th of  $K$  risk factor variables applying to dissemination pathway  $l$ , and  $W\_RFD_k$  is the  $k$ -th risk factor relative importance weighting within pathway  $l$ .

Once the likelihood score for individual pathways was calculated, a likelihood score for introduction module (IM) and dissemination module (DM) was calculated as the sum of the likelihood scores for each introduction/dissemination pathway multiplied by a weighting (Tables 1 and 2) to reflect the relative importance of the pathway (Eq. 3 and 4).

$$IM = \sum_{j=1}^J (PI_j \times W\_PI_j) \quad (3)$$

Where  $IM$  represents the likelihood score for introduction module;  $PI_j$  is the result value of Eq. (1);  $W\_PI_j$  is its relative importance weighting within pathway  $j$ , and  $J = 4$  represents the total number of introduction pathways.

$$DM = \sum_{l=1}^L (PD_l \times W\_PD_l) \quad (4)$$

Where  $DM$  represents the likelihood score for dissemination module;  $PD_l$  is the result value of Eq. (2);  $W\_PD_l$  is its relative importance weighting within pathway  $l$ , and  $L = 3$  represents the total number of dissemination pathways.

The FMD occurrence Likelihood Score (Eq. 5) was calculated as the product of the Likelihood Score for FMD introduction module and dissemination module because any given grid cell will require both a means of introduction and dissemination in order to propagate a FMD outbreak.

$$LO = IM \times DM \quad (5)$$

Where  $LO$  represents the likelihood score for FMD occurrence;  $IM$  is the result value of Eq. (3) and  $DM$  is the result value of Eq.(4).

#### *Validation of FMD risk maps against historical FMD outbreaks*

Data on Rio Grande do Sul FMD outbreaks from 1986 to 2015 were provided by Panaftosa (unpublished data). We employed the Relative Operating Characteristic (ROC) curve as method to assess the model validity by data matching of identified FMD high risk areas in comparison with FMD outbreaks in RS State since 1986. In this model validation, it was considered as FMD high risk areas the top quantile (20% highest) of likelihood of FMD occurrence among the grids of 1 km x 1 km. Two ROC curves were made, one including all outbreaks data and the other only recent outbreak data (2001).

#### *Sensitivity analysis and uncertainty*

Sensitivity analysis was conducted according to East et al. (2013). The sensitivity analysis output was the comparison between FMD risk ranking of seven mesoregions in RS (IBGE, 2010) as measured by the average likelihood of FMD occurrence score of the grid squares in each mesoregion.

Regarding uncertainty analysis, it was initially analyzed the origin, inner features and type of data of all variables and those which could have high level of uncertainty were chosen. After, the weightings of individual variables data were increased and decreased individually utilizing the maximum and minimum value given by FMD experts

and the effects on the final outcome were determined. Finally, individual variables were removed from the model and the mesoregion of FMD risk ranking compared.

*Modeling of the FMD surveillance performance*

The FMD surveillance performance was modelled by the usage of four variables and their weights, as evaluated by FMD experts. These variables were: “Private veterinarian density”, “number of FMD susceptible animal disease investigation reports”, “number of non-FMD susceptible animal disease investigations reports” and “OVS presence”. An index was created (Eq.6) to evaluate FMD surveillance performance (SP) (East et al 2013). To all variables and Index were created layers and add in final model.

$$SP_{index} = (PVD \times W_1) + (IFMD \times W_2) + (INFMD \times W_3) + (OVS \times W_4) \quad (6)$$

Where PVD = Private veterinarian density; IFMD = relative number of FMD susceptible animal disease investigation reports; INFMD = relative number of non FMD susceptible animal disease investigations reports and OVS = Presence of Official Veterinary Service.  $W_n$  represents weightings of the relative importance of the  $n$ -th surveillance element as evaluated by the FMD experts,  $n=1, \dots, 4$ .

The SP was added to the model and compared the reduction impact of likelihood of FMD occurrence in each mesoregion. We assumed that the likelihood of FMD occurrence could be minimized by the SP index, remaining a residual FMD likelihood, called residual risk (East et al., 2013). We calculated this residual risk as following (Eq.7):

$$ReR = LO \times (1 - SP_{index}) \quad (7)$$

Where  $ReR$  is the Residual Risk;  $LO$  is the result value of Eq. (5) and  $SP_{index}$  is the result value of Eq. (6).

Finally, we compared the FMD occurrence likelihood map and Residual Risk map.

## **Results**

### *Previous FMD outbreaks analysis and variables selection*

The OIE database reports 57,602 FMD outbreaks in 99 countries from 1996 until 2012. Bovine is the main species associated with FMD outbreaks (68%), followed by swine (22%), ovine (20%), and wild species (1%). Only 9% of all outbreaks describe the likely origin of FMD infection. The illegal movement of animals was associated with 58% of reported FMD outbreaks. Analysis of the OVS records (Unpublished data) identified that bovine, ovine and swine were the species involved in FMD outbreaks in RS. Moreover, these data showed illegal and legal movement of animals associated with FMD virus introduction and dissemination in RS. Thus, model variables selection were based on these data and FMD characteristics.

### *Elicitation Process*

The initial group with 28 FMD experts was requested to participate in a snowball sampling. Among these selected experts, 14 (50%) answered by e-mail and indicated 25 FMD experts to participate in an elicitation process. The 25 indicated FMD experts were contacted and 13 (52%) of them completed the matrices and returned it by email – four (31%) experts who responded were working in Brazil, three (23%) were employed in Argentina, two (15%) work for animal health international organizations, two (15%) were in Uruguay, one (8%) was employed in Peru and one (8%) in the USA. Moreover, when analyzing the employment area, seven (55%) FMD experts have worked for OVS, two (15%) have worked for animal laboratories, two (15%) have worked in universities and two (15%) in international organization.

Only one (8%) FMD expert revised his previous opinion after receiving the anonymous summary of group results and consistency index. This FMD expert altered his responses in 6 of 10 matrices (60%). The FMD experts responses were analyzed and

only consistent answers (Saaty, 1977) were included to average weighting (Table 1 – 4). In all 10 matrices, the average consistency rate was seven responses (out of 13), varying between three and thirteen.

#### *FMD risk maps*

The outputs (likelihood of FMD occurrence) are regional maps showing the relative likelihood of disease introduction and dissemination (see Figure 2). The maps show relative likelihood scores for each 1 km × 1 km grid cell based on the highest risk grid square on each map that scored one. Relative likelihood is presented on a scale between 0 and 1. Maps analyses show important differences which reflect diverse pathways and risk factors associated. The variables adopted to construct all layers of the model and their weightings are shown in Table 1 to Table 4.

The likelihood of FMD occurrence map is shown in Figure 3. The Southwest, Northwest and Southeast mesoregions, especially international border areas, and the Eastern mesoregion were identified with the presence of areas of high likelihood of FMD occurrence.

#### *FMD Surveillance Performance*

The importance of each variable according to FMD was: “OVS presence” 34.3%; “FMD susceptible animal disease investigation reports” 33.7%; “density of private veterinarians” 23.7%; and “non FMD susceptible animal disease investigations reports” 8.3%. The SP value was included into the model to verify its impact on likelihood of FMD occurrence (Figure 3 and Table 5). The FMD surveillance performance had better results in the Southwest and Southeast mesoregions, which have the highest likelihood of FMD occurrence (Table 5). The final map showed the residual risk (Figure 3) with all 22 variables.

#### *Sensitivity analysis and uncertainty*

The “proximity to international border” variable was the only risk factor which changed the mesoregion FMD risk ranking. This is the most influential variable in the model, contributing with 16% of the likelihood of FMD occurrence (Supplementary Material) and when its weighting value increased twice, the Northwest region exceeds the Eastern. The original likelihood of FMD occurrence ranking can be visualized in Table 5. Other ranking changes did not occurred and the Southwest and Southeast have continued as major risk areas.

The effect of risk factors “count of most intensive surveillance areas” and “proximity to areas with presence of wild boar” were variables considered with high level of uncertainty due to its data source. OVS surveys from each county gathered these data, however important information on these most intensive surveillance areas, for instance, its size, was not collected. Moreover, considering all variables analyzed, the “count of most intensive surveillance areas” was the only one with missing data (13.7%) and in these cases it was used the value 1 (the worst scenario), causing an overestimation. This variable contributes with 9% of the likelihood for FMD occurrence (Supplementary Material). If this variable is removed from the model, a single changing on mesoregion FMD risk ranking occurs, with the Northwest mesoregion jumping from the fourth place to the second place. When the maximum (0.9) and minimum (0.25) FMD expert weighting was used, the ranking changes did not take place. The other variable analyzed was the “proximity to areas with presence of wild boar”. This variable had a minor importance on this model of likelihood FMD occurrence (less than 1%. See Supplementary Material). The uncertainty analysis revealed that removing or varying the maximum (0.031) and minimum (0.012) FMD expert weighting for this variable, mesoregion FMD risk ranking changes were not found (data not showed).

*Validation of likelihood maps against historical FMD outbreaks*

In the last 30 years (1986-2015), Rio Grande do Sul registered 808 FMD outbreaks. Between 1986 and 1993, 752 FMD outbreaks were registered in all regions of the State, with highest concentration in the Northwest and Metropolitan mesoregions (Figure4). Subsequently to this period, Rio Grande do Sul had two FMD incursions: one in August/ 2000 had 26 outbreaks and the last FMD occurrence in May/2001 with 30 outbreaks (Figure4). Since 2002, no FMD outbreaks were reported. The AUC to historical FMD outbreaks (since 1986) was 0.620 while the AUC to last FMD outbreak (2001) was 0.864. The two ROC curves can be visualized in Figure5. The map with the identification of FMD high risk areas in contrast to 2001 outbreaks of FMD in RS can be observed in Figure 4.

### **Discussion**

Epidemiological studies can support OVS on surveillance strategies, decision-making processes and sanitary status improvement. They may also contribute to sounder management of OVS, allowing safer optimization of resources and increasing public transparency on their activities and responsibilities. Spatial knowledge-driven methods, e.g. MCDA, have been used on targeted surveillance programs (East et al., 2013) and it could help OVS to determine FMD risk areas along with animal health surveillance enhancement. The main advantage in using MCDA is to facilitate decision-makers learning about this theme and to have a better understanding on problem solving (Belton and Stewart, 2002).

We used the MCDA to create a FMD model which integrates data from diverse sources to identify FMD risk areas in RS. The MCDA has already been employed in other countries (Brookes et al.; 2014; Martínez-López et al., 2014) and in Brazil (Amaral, 2013) to help target animal surveillance and risk areas identification. Our model structure

provides a methodology for guiding decision makers throughout the critical process of clarifying evaluation criteria and of defining values which are relevant to the mesoregion FMD risk ranking. Moreover, it made possible to determine areas where FMD is more likely to be introduced and disseminated, and consequently, set up or improve target surveillance in each of these areas to minimize the risk.

In our study it was found that the likelihood of FMD introduction in RS is highly associated with “international border proximity” and “ruminant density”, which are present in grid cells mainly in the Southwest and the Southeast mesoregions and with lower intensity in the Western and the Northwest mesoregions. Valarcher et al. (2008) reviewed all incursions of FMD into Europe between 1985 and 2006 and showed that some FMD outbreaks were associated with close geographical proximity to an international border. The unregulated (illegal or informal) animal movement across international borders is considered a risk associated with FMD introduction and the high ruminant density could improve the likely contact with the FMD virus (Fevre et al., 2006). Other associated FMD introduction variables are “density of non-commercial pig farms” and the “count of most intensive surveillance areas”, which are higher in the Northeast and the Eastern mesoregions when compared with other mesoregions of the studied area.

Analyzing the likelihood of FMD dissemination in Rio Grande do Sul, the variables linked to “FMD susceptible animal movement” had an important participation. The majority annual ruminant movement occurred in the Southwest and the Southeast mesoregions, while pig movement was concentrated in the Eastern and the Northwest mesoregions. In RS, small farm concentration is greater in the North, which had also the majority of pig and dairy cattle farms, variables associated with FMD dissemination pathways.



The final FMD Risk Map represented by likelihood of FMD occurrence showed Rio Grande do Sul's international border areas and the Eastern mesoregion as the FMD higher risk areas. Therefore, an OVS plan on FMD target surveillance in these zones would be indicated. The model considered FMD high risk areas the threshold of 20% highest grid of 1 km x 1 km. However, the best categorization and selection of limits should be carried out by decision makers and OVS- they may extend or reduce this limit. As the improvement of surveillance in large areas needs material and human resources, which are often scarce, the OVS could reallocate these resources from lower FMD risk areas to those which are higher FMD risk areas.

We used the ROC curve as a method to assess the model validity by matching data of FMD high risk areas identified by the MCDA against FMD outbreaks in RS since 1986. An AUC value of 1 indicates that there is a perfect spatial agreement between the class map (FMD high risk areas) and the historical FMD outbreaks (Pontius and Schneider, 2001). When analyzing the historical FMD outbreaks since 1986, the model had a moderate performance (0.62). It could be explained as one important introduction pathway into RS in the past was associated with laboratory escape. The metropolitan region used to have five laboratories manipulating FMD virus for diagnostic and vaccine production, which did not have high biosafety level measures until 1993. Moreover, FMD infected animals used in laboratories were transported and slaughtered in a neighbour city about 60 km of distance (J.A. Ravison, personal communication). These procedures without biosafety measures can explain the high concentration of outbreaks in the Metropolitan mesoregion, which also led the Brazilian OVS to prohibit the manipulation of FMD virus in FMD-free zones (Mapa, 1994). Thus, this FMD introduction pathway was evaluated as negligible and not considered in our model. Another factor which might have influenced the low performance until 1993 is the fact that FMD outbreaks

localization was done by map grid, which has lower precision in comparison with geographic coordinate system adopted starting in 2000. After 1993, the State did not have FMD outbreaks until 2000. This region was recognized by the OIE as FMD free with vaccination in May/1998 (OIE, 2016) and after that it had two FMD incursions (Fig 4). When analyzed across the last FMD outbreak in Rio Grande do Sul, which occurred in 2001, this model showed to be well adjusted (0.86) and approximately 9 to 10 outbreaks occurred in FMD high risk areas. This value is similar to other study with animal disease predictive model undertaken in Brazil (Dias et al., 2011).

The sensitivity analysis was conducted to test the robustness of the results. Changing the weightings of the individual pathways and risk factors showed that the “proximity to international border” variable affected the mesoregion FMD risk ranking when increased by a factor of 2. The Northwest have the largest international border while the Eastern is localized in central region (Figure 1), and this ranking change was already expected.

This study also evaluated the FMD surveillance performance applied in RS related to FMD high risk areas. Fortunately, in Southwest and Southeast regions, which are top FMD risk ranking, the FMD surveillance performance had the best result in comparison with all other regions (Table 5). However, the Eastern and Northwest regions, which also had FMD high risk areas, need to improve FMD SP. The animal surveillance has been associated with stakeholders and their participation in all surveillance process is very important (FAO, 2011). The analysis of FMD surveillance performance variables showed that the “presence of OVS” together with the “number of FMD susceptible animal disease investigations reports” were the most relevant variables considered by FMD experts. Although important communication tools, as internet and mobile phones, are available presently (Madder et al., 2012), the presence and proximity of veterinary government

Office is important to farmers, especially for disease notification by small farmers. In RS, a personal notification is the main contact between farmers and OVS (Dutra & Santos, 2007). The number of animal disease investigations is associated directly to the report made by the farmers (East et al.; 2013). Regions which have more FMD susceptible animal disease investigations reports could be associated with greater community participation on animal health issues, so a possible FMD introduction could be quickly informed by them. Other investigations (number of non FMD susceptible animals), despite not being associated with FMD disease, can indirectly measure the community participation in aspects linked to animal health. It is valuable to highlight that the SP index has a limitation in this study. The “private veterinarians density” variable was used in SP, but the veterinary data source have no accurate information because a professional veterinary can work in all State area. Furthermore, we did not have information about the field of work. In order to calculate the SP index, the number of private veterinary registered in each city was used, without knowing the detailed proportion of the ones who may work in areas not related to livestock sector.

For future analysis, we recommend this model to be frequently updated, as all data are available at Rio Grande do Sul OVS, as well as technological tools can be used to improve the systematization of this multi criteria model. Additionally, georeferenced data of RS farms could be adopted, when available, to replace variables which in our model were used as polygon (only information of city) making the model more accurate. Environment variables (e.g. forest areas) could be considered natural barriers to FMD introduction and dissemination and they can be contemplated to improve the precision of the model. Moreover, in the present study, only the “presence of OVS” was examined, but road layers can be added to the model to measure the distance farm-office to improve accuracy of the model. It is important that future studies complement this index SP, adding

new variables to insert other diseases to create a single index as realized by East et al (2013) and help the Rio Grande do Sul OVS to improve the animal surveillance performance.

Our study utilized a robust South American expert's panel to define the weighing of pathways and associated risk factors that were essential to the final model. The process had 13 participants of five South American nationalities with great knowledge about FMD disease in this region. We had an excellent response rate of 52% which helped in determining the weighing of pathways and risk factors of the model. Garabed et al. (2009) used the similar eliciting process and they obtained a response rate of 16%. The AHP have been used in other studies (Zang et al., 2012) and it was the key to success in the eliciting process, because it showed the consistency response quickly. The eliciting process by e-mail had some advantages when compared with the group meeting, as prevented any interaction or exchanging of information between participants. On the other hand, the Delphi approach did not bring good results. Cox et al. (2012) utilizing the Delphi-like approach obtained only 4 experts (out of 64) that altered their responses, a rate similar to the one found here. The contact via email, as well as the repetitive and time consuming nature of the procedure can be attributed to the lack of response (Cox et al., 2012).

The South American areas have similar animal production characteristics and this model, with some adjustments, could be used in other areas of the continent. Other studies have utilized this approach in South America (Martinez-Lopez et al., 2014) and Africa (Glanville et al., 2014; Arsevska et al., 2015). The main function of MCDA in supporting spatial decision making is to help the decision participants to develop a constructive and creative approach to the problem at hand, rather than to support them in identifying the 'best' solution (Malczewski and Rinner, 2015). Likewise, in several States in Brazil, the main actors involved with livestock activities (stakeholders farmers, government, and

cattle, sheep, and swine industries) have discussed the possibility of a forthcoming stoppage vaccination. In areas without FMD vaccination the risk of FMD establishment and spread is higher than in zones with FMD vaccination. Brazilian states classified as FMD free areas with vaccination, could apply this model to evaluate and, if necessary, improve surveillance actions in FMD high risk areas to migrate to FMD free areas without vaccination with higher security. Therefore, surveillance measures might be taken by the OVS to minimize those risks in FMD high risk areas.

### **Acknowledgments**

The authors would like to thank Mr. Fausto A. Bernardo for extensive support with data extraction from Rio Grande do Sul Official Veterinary Service Database. We also thank the Centro Panamericano de Febre Aftosa (Panaftosa), especially, Ms. Lia P. Buzanovsky, Ms. Monica Martini, Mr. Alexandre G. Santos, Dr. Julio Pompei and Dr. Otorrino Cosivi for assistance and availability of Rio Grande do Sul FMD historical outbreaks. The authors also thank the FMD experts for anonymous essential collaboration that was decisive to this study outcome. The research leading to these results have received funding from the Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal (FUNDESA).

## References

- Amaral, T. B. 2013: Risk assessment of foot and mouth disease in the border between Brazil and Paraguay: a geographical approach. PhD thesis, Université Laval, Quebec, Canadá.
- Arsevska, E., J. Calavas, S. Hénaux, S. Hellal, P. Mejri, D. Hammami and V. Marianneau, 2015: Identifying areas suitable for the occurrence of Rift Valley Fever in North Africa: Implications for Surveillance. *Transbound Emerg Dis*.
- Belton, V. and T.J. Stewart, 2002: *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers, United Kingdom.
- Brito, B. P., L. L. Rodriguez, J. M. Hammond, J. Pinto and A. M. Perez, 2015: Review of the global distribution of Foot-and-Mouth Disease virus from 2007 to 2014. *Transbound Emerg Dis*, n/a-n/a.
- Brookes, V. J., M. Hernández-Jover, B. Cowled, P. K. Holyoake and M. P. Ward, 2014: Building a picture: Prioritisation of exotic diseases for the pig industry in Australia using multi-criteria decision analysis. *Prev Vet Med*, 113, 103-117.
- Cox, R., C. W. Revie and J. Sanchez, 2012: The use of expert opinion to assess the risk of emergence or re-emergence of infectious diseases in Canada associated with climate change. *PLoS ONE*, 7, 1-13.
- Dias R.A., V.S. Nogueira Filho, C.S. Goulart, I.C.O. Telles, G.H.F. Marques, F. Ferreira, M. Amaku and J.S. Ferreira Neto, 2011: Modelo de risco para circulação do vírus da raiva em herbívoros no Estado de São Paulo, Brasil. *Revta Panam. Salud Publica* 30(4), 370-376.
- Dutra, M. G. B. and D.V. Santos, 2007: Caracterização das propriedades rurais para o risco de introdução do vírus da febre aftosa no rebanho gaúcho. *Veterinária em Foco*, 5, 1-6.
- East, I. J., R. M. Wicks, P. A. J. Martin, E. S. G. Sergeant, L. A. Randall and M. G. Garner, 2013: Use of a multi-criteria analysis framework to inform the design of risk based general surveillance systems for animal disease in Australia. *Prev Vet Med*, 112, 230-247.
- Erickson, B., 1979: Some problems of inference from chain data. *Sociol Methodol*, 10, 276-302.
- FAO, 2015: Foot-and-Mouth Disease situation monthly report december 2015. Available at:  
[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/eufmd/docs/FMD\\_monthly\\_reports/2015/Dec2015Final.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/eufmd/docs/FMD_monthly_reports/2015/Dec2015Final.pdf) (accessed 19/01/2016).
- Fracastorius, H. 1546. *De sympathia et antipathia rerum liber unus. De contagione et contagiosis morbis et eorum curatione liber I*, Venice, Heirs of L. A. Junta.
- Fèvre, E. M., B. M. d. C. Bronsvoort, K. A. Hamilton and S. Cleaveland, 2006: Animal movements and the spread of infectious diseases. *Trends in microbiology*, 14, 125-131.

- Garabed, R. B., A. M. Perez, W. O. Johnson and M. C. Thurmond, 2009: Use of expert opinion for animal disease decisions: an example of foot-and-mouth disease status designation. *Prev Vet Med*, 92, 20-30.
- Glanville, W. A., L. Vial, S. Costard, B. Wieland and D. U. Pfeiffer, 2014: Spatial multi-criteria decision analysis to predict suitability for African swine fever endemicity in Africa. *BMC veterinary research*, 10, 1.
- Hsu, C.-C. and B. A. Sandford, 2007: The Delphi technique: Making sense of consensus. *Pract. assess., res. eval.*, 12, 1-8.
- IBGE, 2010: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Available at: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/> (accessed 06/11/2015).
- Madder, M., J. Walker, J. Van Rooyen, D. Knobel, E. Vandamme, D. Berkvens, S. Vanwambeke and E. De Clercq, 2012: e-Surveillance in animal health: use and evaluation of mobile tools.
- Malczewski, J. and C. Rinner, 2015: *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer, New York.
- Mapa, 1964: Vacinação contra a febre aftosa. Ministério da Agricultura, Brasília.
- Mapa, 1994: Portaria nº 177. Brazilian law published on 27/10/1994.
- Mapa, 2007: Veterinary Surveillance for Vesicular Diseases - General Guidelines. Available at: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/Guidelines%20for%20Vesicular%20Diseases%20Surveillance%202007.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Guidelines%20for%20Vesicular%20Diseases%20Surveillance%202007.pdf) (accessed 22/12/2015).
- Mapa, 2015: News - Kátia Abreu trata de exportações de suínos com governador de SC. Available at: <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/07/katia-abreu-trata-de-exportacoes-de-suinos-com-governador-de-sc> (accessed 30/10/2015).
- Martinez-Lopez, B., B. Ivorra, E. Fernandez-Carrion, A. M. Perez, A. Medel-Herrero, F. Sanchez-Vizcaino, C. Gortazar, A. M. Ramos and J. M. Sanchez-Vizcaino, 2014: A multi-analysis approach for space-time and economic evaluation of risks related with livestock diseases: the example of FMD in Peru. *Prev Vet Med*, 114, 47-63.
- OIE, 2012: Wildlife and Foot and Mouth Disease - A look from the Wild Side. Available at: <http://www.oie.int/doc/ged/D12147.PDF> (accessed 17/12/2015).
- OIE, 2013: Animal Health Data. Available at: <http://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/the-world-animal-health-information-system> (accessed 04/01/2013).
- OIE, 2015: Foot and Mouth Disease (FMD). Available at: <http://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/official-disease-status/fmd/en-fmd-carte/> (accessed 12/06/2015).
- OIE, 2016: Foot and mouth disease Portal. Available at: <http://www.oie.int/animal-health-in-the-world/fmd-portal/about-fmd/> (accessed 13/01/2016).

- Olascoaga, R. C., I. Gomes, F.J. Rosenberg, P.A. Mello, V. Astudillo and N. Magallanes, 1999: Fiebre Aftosa. Editora Atheneu, São Paulo.
- Panaftosa, 2010: Focos de Fiebre Aftosa – Américas 1972-2009 Available at: [http://www.paho.org/panaftosa/index.php?option=com\\_content&view=article&id=273&Itemid=285](http://www.paho.org/panaftosa/index.php?option=com_content&view=article&id=273&Itemid=285) (accessed 15/10/2015).
- Panaftosa, 2016: 43rd ordinary meeting of the south american commission for the fight against foot-and-mouth disease. Available at: [http://www.panaftosa.org/cosalfa43/docs/Agenda\\_18012016\\_en.pdf](http://www.panaftosa.org/cosalfa43/docs/Agenda_18012016_en.pdf) (accessed 01/02/2016).
- Park, J. H., K. N. Lee, Y. J. Ko, S. M. Kim, H. S. Lee, Y. K. Shin, H. J. Sohn, J. Y. Park, J. Y. Yeh, Y. H. Lee, M. J. Kim, Y. S. Joo, H. Yoon, S. S. Yoon, I. S. Cho and B. Kim, 2013: Control of Foot-and-Mouth Disease during 2010-2011 epidemic, South Korea. *Emerg Infect Dis*, 19, 655-659.
- Pontius Jr, R. G. and L. C. Schneider, 2001: Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 239-248.
- Saaty, T. L., 1977: A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J Math Psychol*, 15, 234-281.
- Santos, D. V. and H. Hein, 2014: A movimentação de animais em eventos de aglomeração no estado do Rio Grande do Sul. *Hora Vet*, 201, 14-18.
- Seapi, 2013: Relatório Anual de Atividades do Departamento. Available at: [http://www.dda.agricultura.rs.gov.br/conteudo/6406/?Relat%C3%B3rio\\_Anual\\_de\\_Atividades\\_do\\_Departamento](http://www.dda.agricultura.rs.gov.br/conteudo/6406/?Relat%C3%B3rio_Anual_de_Atividades_do_Departamento) (accessed 07/11/2015).
- Silva, A. P. S. P., D. V. Santos, G. Machado, H. E. Hein, L. G. Corbellini, I. Kohek Jr and A. C. M. Vidor, 2013: Sheep industry in the State of Rio Grande do Sul, Brazil: Description of the production system and the main health and reproductive aspects. *Pesq Vet Bra*, 33, 1453-1458.
- Silva, G. S., E. Costa, D. V. Santos, G. Machado, F. A. Bernardo, F. H. S. Groff and B. Todeschini, 2014: Panorama da bovinocultura no Rio Grande do Sul. *C Acta Sci. Vet.*, Brazil, 42, 1-7.
- Valarcher, J. F., Y. Leforban, M. Rweyemamu, P. L. Roeder, G. Gerbier, D. K. Mackay, K. J. Sumption, D. J. Paton and N. J. Knowles, 2008: Incursions of foot-and-mouth disease virus into Europe between 1985 and 2006. *Transbound Emerg Dis*, 55, 14-34.
- Zang, Y.T., Y.P. Tan, Y.N. Hu, and C.H. Lu, 2012: Construction of index system for external risk factors of disease on large-scale farm based on the Analytic Hierarchy Process. *Procedia Eng*, 37, 274-80.



**Table 1** Introduction module: Non-negligible FMD introduction pathways in Rio Grande do Sul, Brazil.

Pathway code	Pathway name	Description pathway	Weighting average (max; min)
PI1	Illegal live animals	Importation of live animals through unofficial channels, avoiding previous tests and quarantine measures	0.503 (0.604; 0.390)
PI2	Illegal animal products	Importation of products derived from animals, via unofficial channels, avoiding previous tests and quarantine measures	0.275 (0.390; 0.200)
PI3	Fomites	Entry of potentially FMD virus contaminated clothing, footwear, vet and others equipment, or other non-animal commodities.	0.151 (0.210; 0.063)
PI4	Bioterrorism	Intentional importation of infectious material and dispersal into FMD susceptible animals.	0.071 (0.150; 0.039)
Total weighting pathways introduction			1

**Table 2** Dissemination module: Non-negligible FMD dissemination pathways in Rio Grande do Sul, Brazil

Pathway code	Pathway name	Description pathway	Weighting average (max; min)
PD1	Direct contact	FMD virus transmitted from animal to animal via close contact, either within a herd, between herds on neighboring properties, or when infected animals are moved from one location to another	0.620 (0.731; 0.405)
PD2	Fomites	FMD virus able to survive in the environment and be moved from farm to farm on contaminated equipment, vehicles or animal products	0.274 (0.481; 0.143)
PD3	Windborne	FMD virus able to survive in the environment and be spread from farm to farm by wind in the absence of close contact between animals	0.106 (0.143; 0.072)
Total weighting pathways dissemination			1

**Table 3** Risk factors of the FMD introduction pathways in Rio Grande do Sul, Brazil

Pathway associated	Risk factor name	Reason for using	Weighting average (max; min)
PI1	International border proximity	The difference in price (exchange) between the countries can improve an illegal flow of animals, especially cattle, between Rio Grande do Sul, Brazil, Argentina and Uruguay	0.484 (0.639; 0.153)
PI1	Bovine and buffalo count	The FMD virus exposure into Rio Grande do Sul should occur most likely between bovine and buffalo because these were the species more illegal movement animal associated	0.227 (0.657; 0.096)
PI1	Ruminant density	Ruminant species live together at pasture and may be available to FMD virus	0.165 (0.250; 0.053)
PI1	FMD susceptible animals farms density	The concentration of FMD susceptible animals farms in Rio Grande do Sul areas could help in exposure of FMD virus to FMD susceptible animal	0.124 (0.209; 0.075)
PI2	Non-commercial pig farms density	These farms have not biosecurity measures and the pigs could be available to exposure FMD virus by equipment, vehicles or animal products contaminated	0.345 (0.750; 0.100)
PI2	Most intensive surveillance areas count	These areas have not biosecurity measures and animals could access residue of illegal animals products to feed animals (swine)	0.655 (0.900; 0.250)

PI3	International border proximity	The people movement in international border is constant, with farmers which have farm in two countries (Brazil and Argentina or Uruguay)	0.507 (0.637; 0.405)
PI3	International ports and airports presence	The movement in areas with ports and airports can improve the likelihood of FMD introduction/exposure	0.376 (0.481; 0,250)
PI3	FMD susceptible animals farms density	Improve the likelihood to exposure FMD contaminated clothing, footwear, vet and others equipment, or other non-animal commodities with FMD susceptible animal	0.117 (0.200; 0.078)
PI4	Presence of international farms fair and waiting place for cattle export	The intentional introduction of the FMD virus can be at places with high repercussion and concentration of FMD susceptible animals.	0.568 (0.875; 0.125)
PI4	Ruminant farms density	The intentional introduction of the FMD virus may be areas with high concentration ruminant farms.	0.432 (0.875; 0.125)

---

The each weighting individual introduction pathway (PI1, PI2, PI3 and PI4) sum should be 1 (Saaty, 1977).

**Table 4** Risk factors of the FMD dissemination pathways in Rio Grande do Sul, Brazil

Pathway associated	Risk factor name	Reason for using	Weighting average (max; min)
PD1	Pigs movements to all purposes, except slaughter	The pigs movements to others farms can facilitate the dissemination by direct contact	0.221 (0.313; 0.089)
PD1	Ruminant movements to all purposes, except animal fair and slaughter	The bovine, ovine, caprine and buffalo movement between different farms can improve the likelihood of dissemination.	0.211 (0.260; 0.146)
PD1	Ruminant movements to animals fair	Animals fairs are a good place to direct contact between ruminant animals from different farms	0.183 (0.249; 0.128)
PD1	Ruminant density	Ruminant species live together at pasture and can be available to FMD virus dissemination.	0.133 (0.171; 0.103)
PD1	Pig farms density	High concentration pig farms areas (commercial and non-commercial) may facilitate the dissemination by direct contact	0.117 (0.229; 0.032)
PD1	FMD susceptible animals movement to slaughterhouse	FMD infected animals sent for slaughter could infect other FMD susceptible animals in the slaughterhouse neighborhood by direct contact	0.111 (0.202; 0.065)
PD1	Wild boar area proximity	FMD virus could be disseminated by live wild boar	0.024 (0.031; 0.012)
PD2	Environmental suitability for FMD virus	The water droplets presence in the air can help the resistance FMD virus in fomites and in the air.	0.318 (0.556; 0.074)

PD2	Non-commercial pig farms density	These farms have not biosecurity measures and FMD virus could dissemination by equipment, vehicles or animal products contaminated	0.294 (0.550; 0.058)
PD2	Milk cattle farms, reproduction cattle farms and commercial pigs farms density	These properties using various reproductive and production techniques that increase the chance of contact FMD virus by equipment, vehicles or animal products contaminated	0.200 (0.300; 0.064)
PD2	Ruminant density	High ruminant concentration can improve likelihood to contact FMD virus by equipment, vehicles or animal products contaminated	0.188 (0.300; 0.122)
PD3	Non-commercial pig farms density	These farms have not biosecurity measures and the pigs could be a amplifying effect with a high rate of FMD virus excretion and can facilitate the dissemination by Windborne	0.338 (0.577; 0.088)
PD3	Environmental suitability for FMD virus	The water droplets presence in the air can help the resistance FMD virus in fomites and in the air.	0.270 (0.546; 0.066)
PD3	Ruminant density	High ruminant concentration can improve likelihood to dissemination FMD virus by windborne	0.252 (0.530; 0.070)
PD3	Commercial pig farms density	These properties have biosecurity measures, though not totally prevent a possible dissemination by Windborne	0.140 (0.250; 0.073)

---

The each weighting individual dissemination pathway (PD1, PD2 and PD3) sum should be 1 (Saaty, 1977).

**Table 5** – Rio Grande do Sul mesoregion FMD risk ranking.

<b>Mesoregion</b>	<b>Likelihood of FMD Occurrence (LO)</b>	<b>FMD Surveillance Performance (SP<sub>index</sub>)</b>	<b>Risk Residual (ReR)</b>	<b>SP Impact (%)</b>
Southwest	0.080	0.339	0.051	36.25
Southeast	0.049	0.324	0.033	32.65
Eastern	0.041	0.231	0.031	24.39
Northwest	0.037	0.232	0.028	24.32
Northeast	0.029	0.244	0.022	24.14
Western	0.020	0.307	0.014	30.00
Metropolitan	0.017	0.211	0.014	17.64

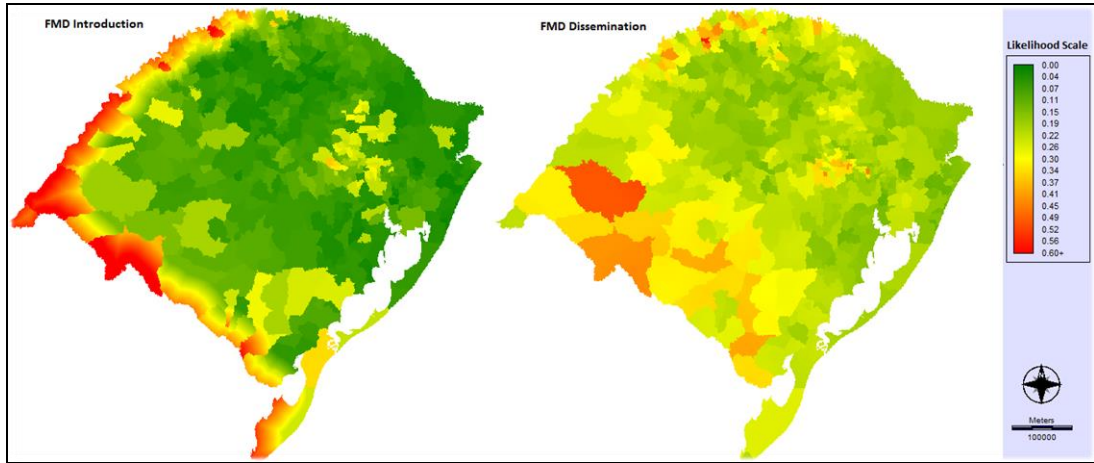
SP Impact (%) =  $100 - ((RR*100)/LO)$  and  $RR = 1 - SP$

**Figure 1** – Map of Rio Grande do Sul showing the seven division and national and international border

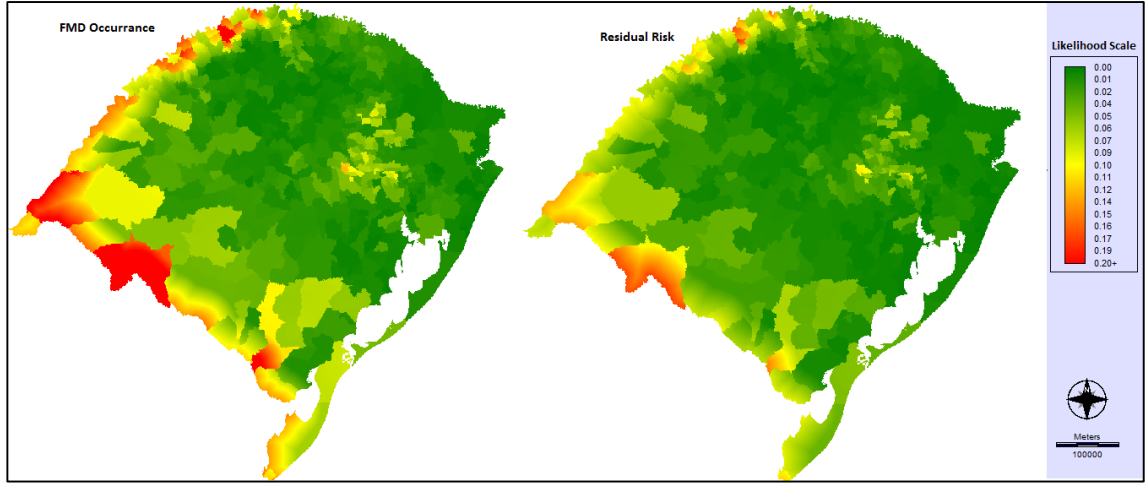




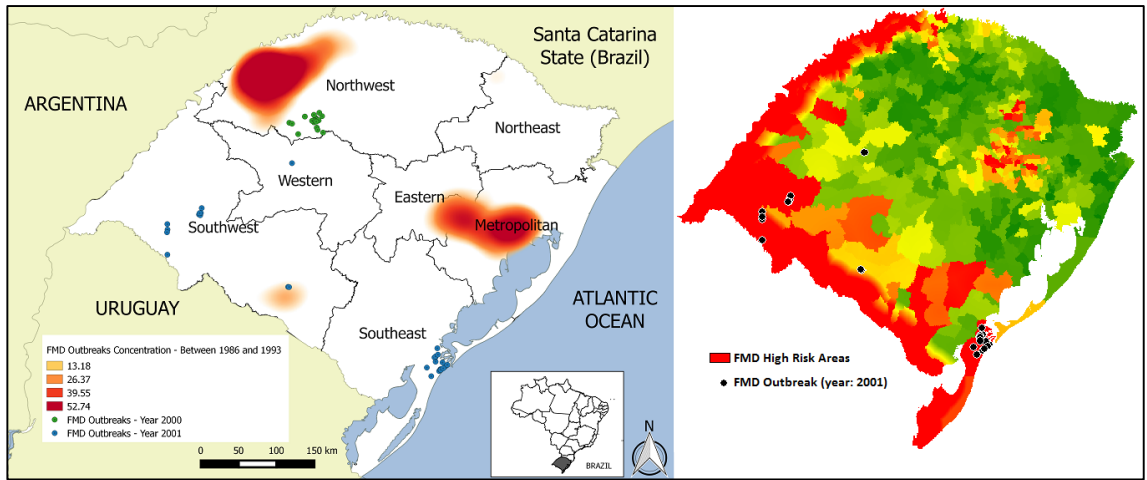
**Figure 2** – Likelihood of FMD introduction and FMD dissemination Maps in Rio Grande do Sul



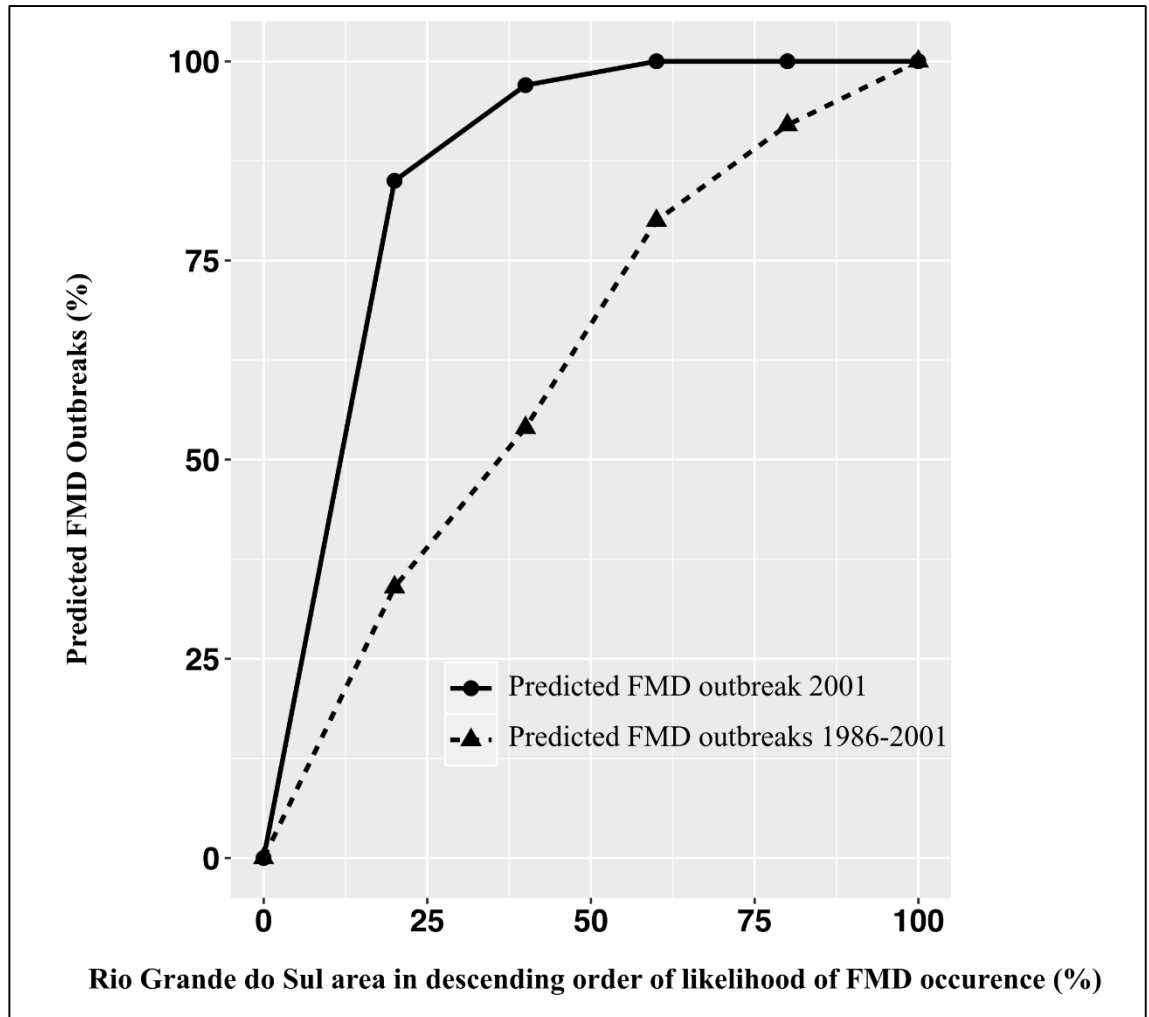
**Figure 3** – Likelihood of FMD occurrence and Risk Residual Maps in Rio Grande do Sul



**Figure 4** – Historical FMD Outbreaks in Rio Grande do Sul and FMD High risk areas against last FMD outbreaks in Rio Grande do Sul



**Figure 5** –ROC curve Rio Grande do Sul FMD outbreaks (1986-2001) and last outbreak (2001).



Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

#### **4.1 Supplementary material**

##### **Data Layers**

Table 1 – Source information about all variables used to prepare raster map layers is shown in Table 1.

##### **Scenario Tree**

Scenario tree showing FMD introduction and exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil

Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

**Table 1** – Variables used in the model to prepare raster map layers.

<b>Variable</b>	<b>Weight*</b>	<b>Description</b>	<b>Source</b>
International border proximity	16.00	Raster created by Idrisi Selva for international border (Argentina and Uruguay). Range between 0 and 50 km from international borders.	
Ruminant density	12.19	Density of ruminant in county (number of ruminants/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
Non-commercial pig farms density	10.59	Density of farms with pigs for domicile usage in county (number of non-commercial pig farms/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
Most intensive surveillance areas count	9.00	Number of land reform farms, “quilombolas” communities, indigenous area, sanitary landfill and dumping ground in county	SEAPI, unpublished results
Pig movements to all purposes, except slaughter	6.85	Transported pigs annual number to all purposes between counties, except to slaughter (number of transport/year)	SAN, 2013
Ruminant movement to all purposes, except animal fair and slaughter	6.54	Transported ruminant annual number to all purposes between counties, except to animal fair and/or slaughter (number of transport/year)	SAN, 2013
Environmental suitability for FMD virus	5.76	Annual count relative to humidity monthly average greater than 60%	CPTEC, 2014
Bovine and buffalo count	5.71	Domestic cattle and buffalo number in county (number of animal)	SAN, 2013

## Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

Ruminant movements to animal fairs	5.67	Annual number of ruminant transported to markets and shows (number of transport/year)	SAN, 2013
FMD susceptible animal farms density	4.05	Farm density with at least one susceptible animal in (each) county (number of farms/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
Pig farms density	3.63	Density of pig farms in county (number of pig farms/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
FMD susceptible animals movement to slaughterhouse	3.44	Annual number of received FMD susceptible animals movement to slaughterhouse in county (number of transport/year)	SAN, 2013
International port and airport presence	2.84	We attributed to counties which have international airport and port with high movement of products and people the maximum value (1). Scores were adjusted according to this base to all other counties.	INFRAERO, 2013; SPH, 2013
Dairy farms, reproduction cattle farms and commercial pig farms density	2.74	Dairy farms, reproduction cattle farms and commercial pig farms density in county (number of farms/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
Presence of international farms fair and waiting place for cattle export	2.01	Counties which have international farm fairs and waiting place for cattle export with annual high animal movement; we ascribed maximum value (1) and, to all other counties, scores adjusted to this base.	SEAPI unpublished results
Ruminant farms density	1.53	Density of ruminant farms in county (number of ruminant farms/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
Wild boar area proximity	0.74	Buffer to wild boar area. Range between 0 to 60 km (wild boar range of movement).	Medeiros, 2016

## Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

Commercial pig farms density	0.74	Commercial pig farm density in county (number of commercial pigs farm/km <sup>2</sup> )	SAN, 2013
Private veterinarian density	-	Private veterinarian density in county (number of private veterinarians residence/km <sup>2</sup> )	CMRV/RS, Unpublished results
FMD susceptible animal disease investigation reports	-	Annual median number of FMD susceptible animal disease investigation in county in 2012, 2013 and 2014 divided by the total of susceptible animal farms in county (FMD susceptible animal disease investigation median/total susceptible farms)	SEAPI, 2013
Non FMD susceptible animal disease investigation reports	-	Annual median number of non FMD susceptible animal disease investigation in county in 2012, 2013 and 2014 divided by total farms in county (non FMD susceptible animal disease investigation median/total farms)	SEAPI, 2013
Veterinary Office Service Presence	-	Counties with veterinary government office presence were given value 1; counties which have only a veterinary government community (inside other government institutions) value 0.5 and counties without veterinary government office or room value 0.	SAN, 2013

\* Variable participation percentage in the likelihood of FMD occurrence

**Variable types:** The variables “international border proximity” and “wild boar area proximity” were developed from points to raster layers construct. All other variables were made from data of counties (polygon) to raster layers construct.



Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

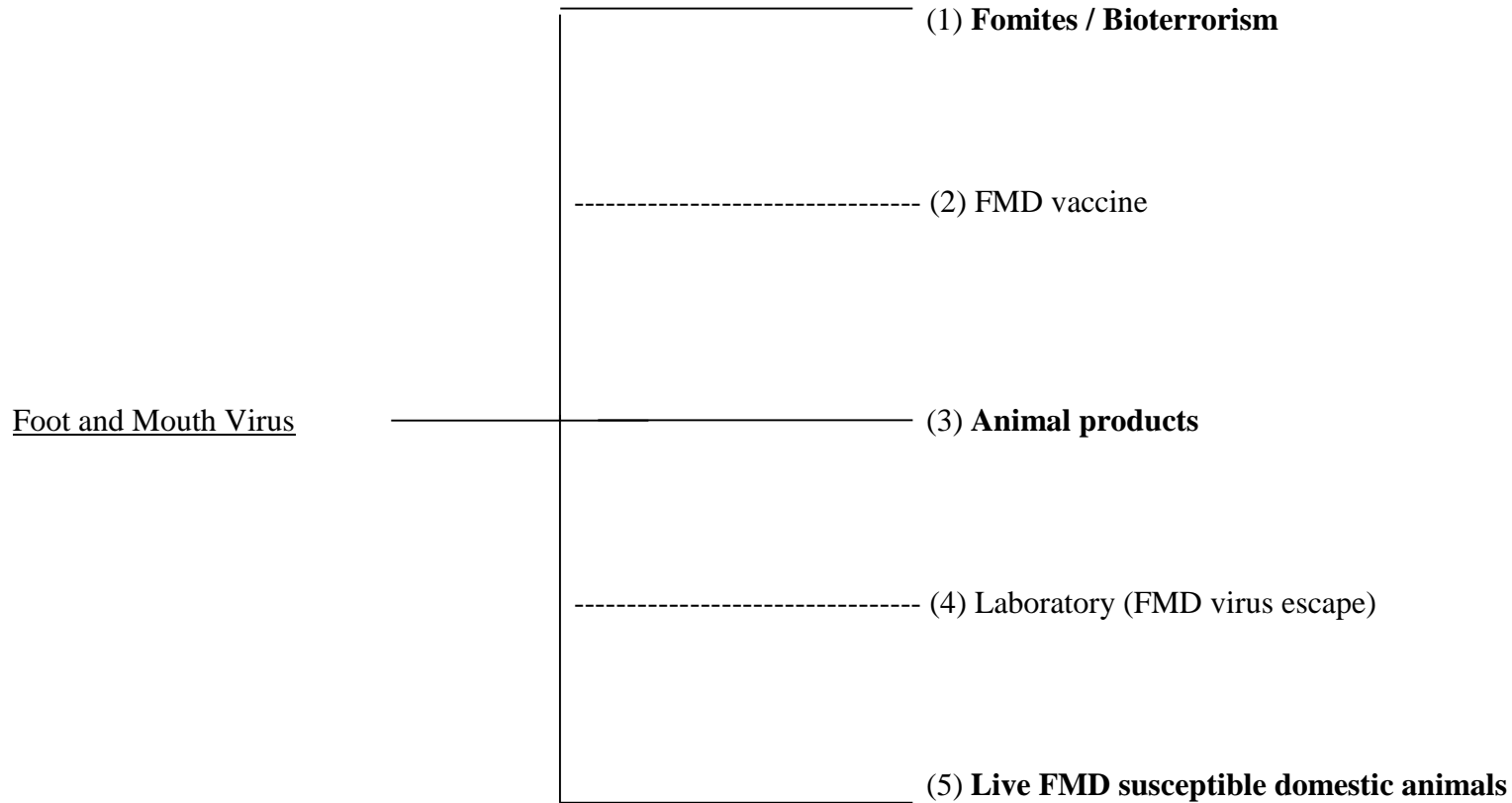
## References

- CPTEC, 2014: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Available at: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/> (Accessed 8 April 2015).
- INFRAERO, 2013: Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Available at: <http://www.infraero.gov.br/portal/index.php/us.html> (Accessed 11 June 2014).
- Medeiros, A.A.R. 2016. Avaliação dos fatores associados ao contato entre javalis asselvajados e suínos de subsistência no Rio Grande do Sul. MSc thesis, UFRGS, Porto Alegre, Brazil.
- SAN, 2013: Animal data analysis systems of the Rio Grande do Sul Official Veterinary Service. Only access to OVS members and Rio Grande do Sul farmers. Available at: [http://www.dda.agricultura.rs.gov.br/conteudo/6433/?SDA\\_-\\_Sistemas\\_de\\_Defesa\\_Agropecuária](http://www.dda.agricultura.rs.gov.br/conteudo/6433/?SDA_-_Sistemas_de_Defesa_Agropecuária) (Accessed 3 - 7 March 2014).
- SEAPI, 2013: Rio Grande do Sul Official Veterinary Service. Available at: [http://www.dda.agricultura.rs.gov.br/lista/977/Se%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Epidemiologia\\_e\\_Estat%C3%ADstica](http://www.dda.agricultura.rs.gov.br/lista/977/Se%C3%A7%C3%A3o_de_Epidemiologia_e_Estat%C3%ADstica) (Accessed 10 March 2014).
- SPH, 2013: Superintendencia de Portos e Hidrovias. Available at: [http://www.sph.rs.gov.br/sph\\_2006/content/localizacao/localizacao.php](http://www.sph.rs.gov.br/sph_2006/content/localizacao/localizacao.php) (Accessed 11 June 2014).

Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

**Scenario tree - FMD introduction and exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil (1/6)**

**Primary introduction - Pathways**

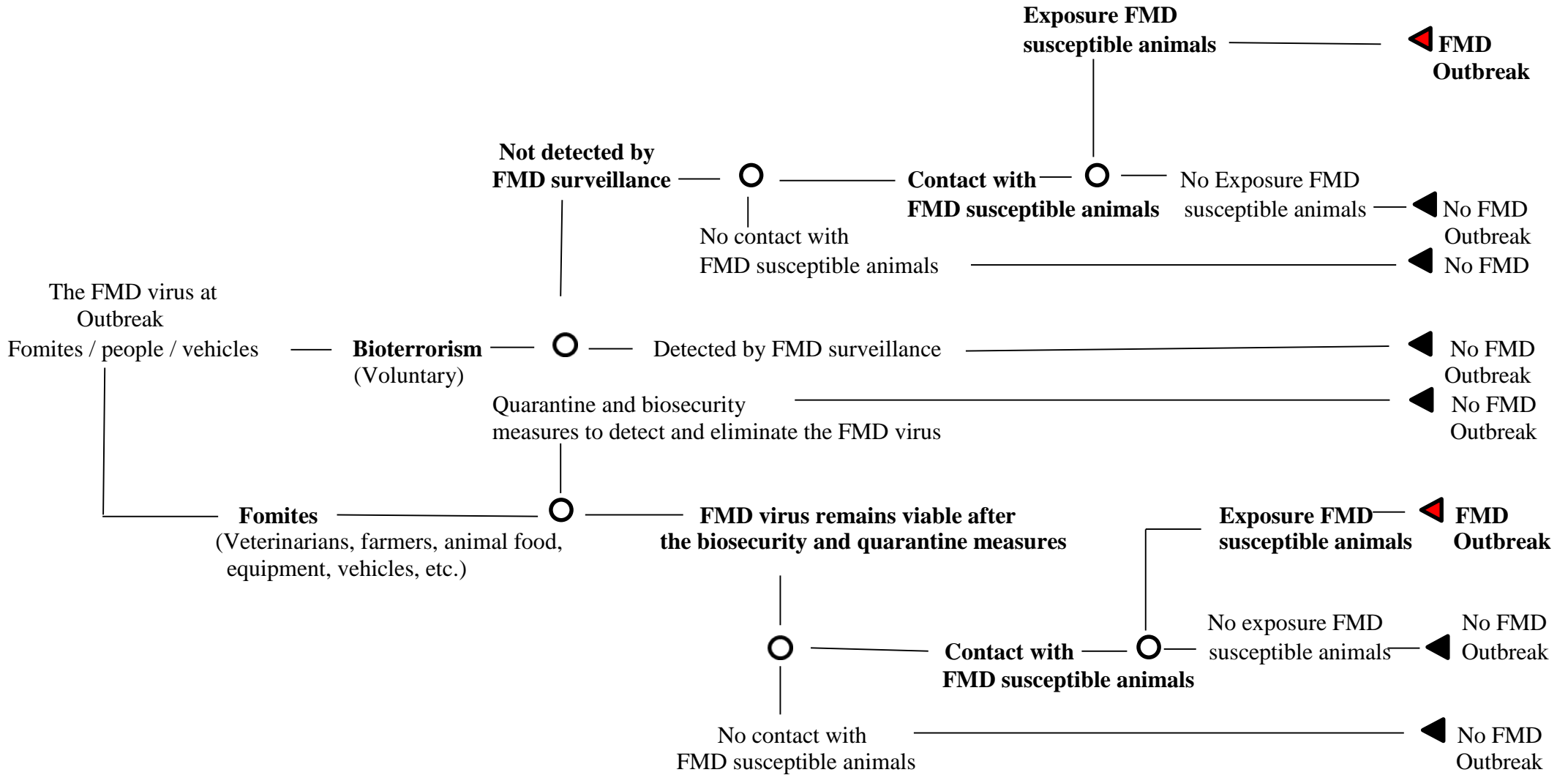


Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

**Scenario tree - FMD introduction and exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil (2/6)**

**Pathway 1 – The FMD virus at Fomites / Bioterrorism**

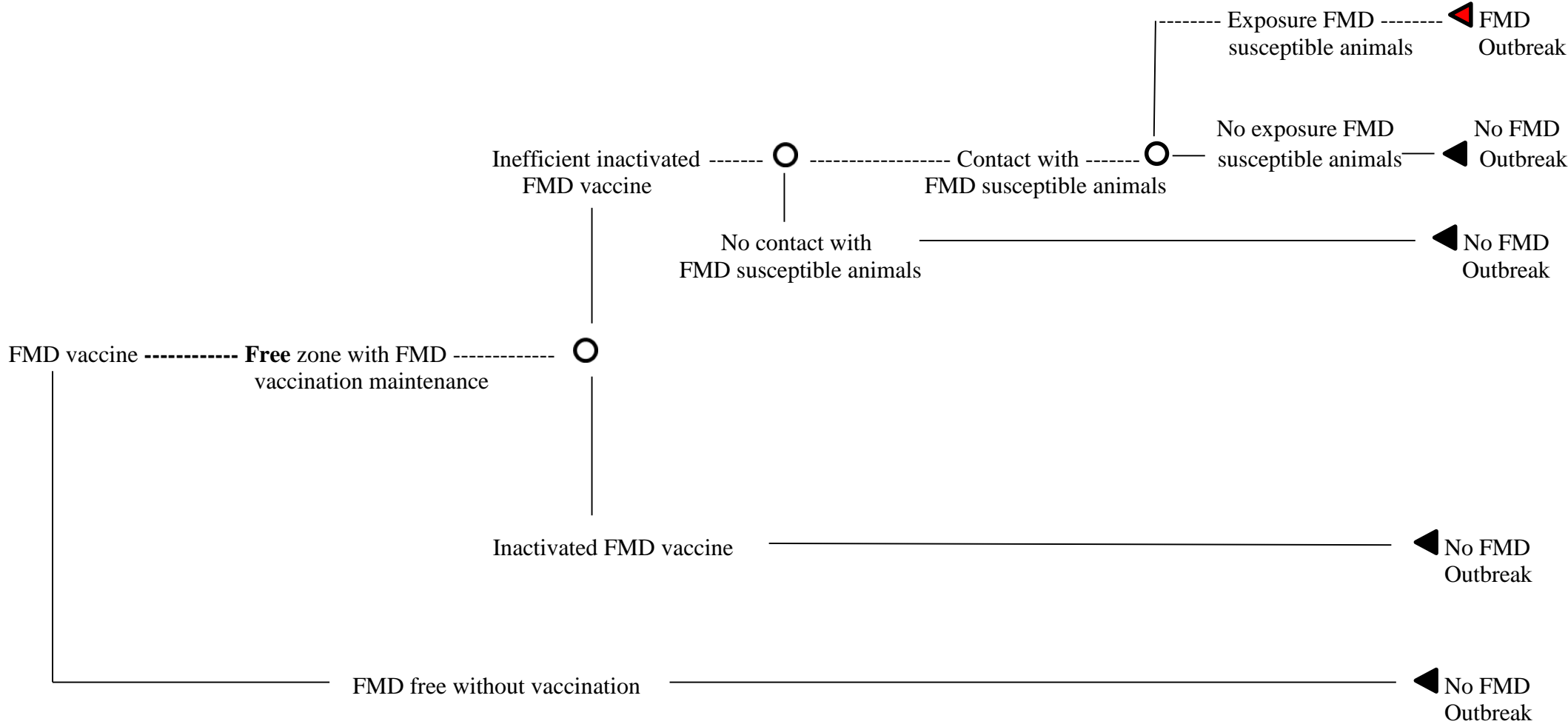
FMD introduction and exposure pathway in Rio Grande do Sul, Brazil



Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

Scenario tree - FMD introduction and exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil (3/6)

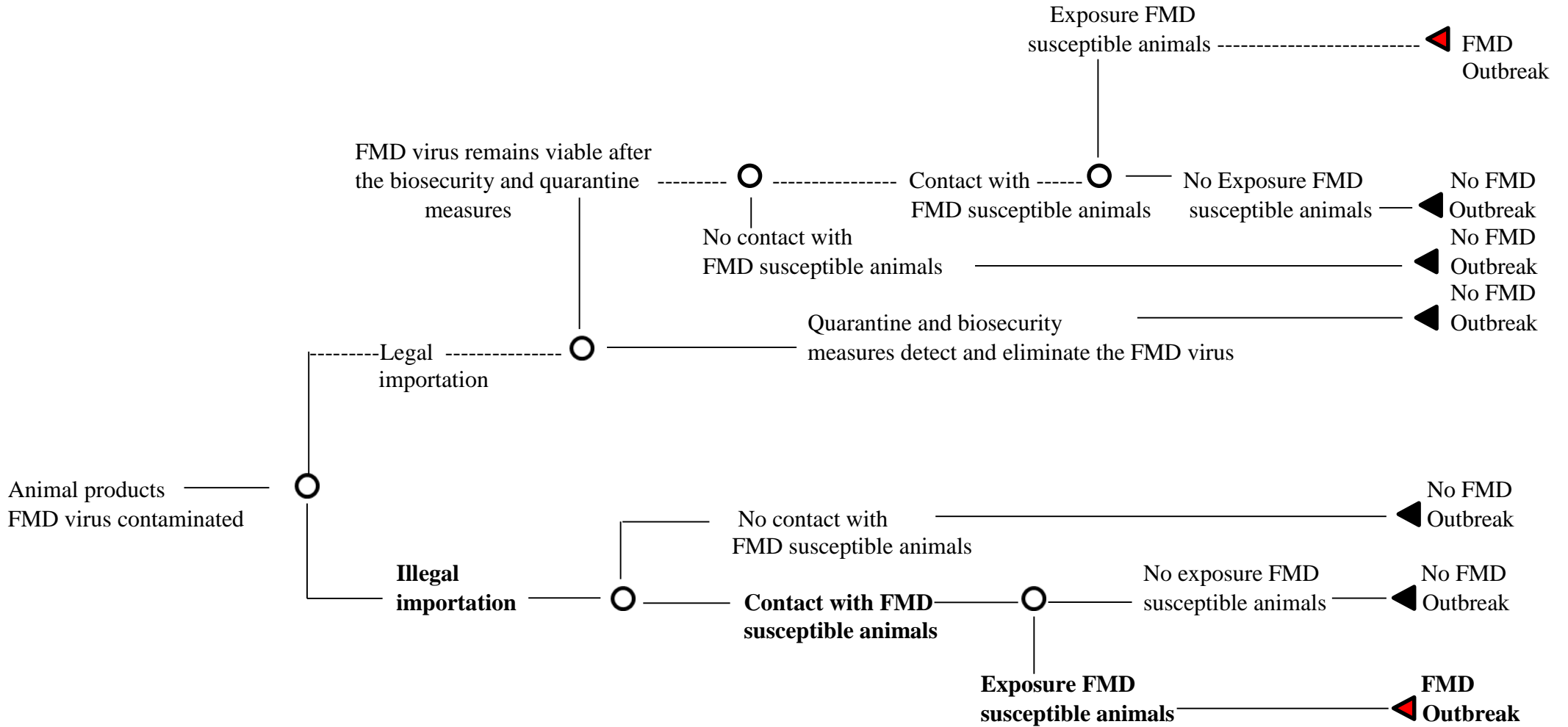
Pathway 2 – The FMD virus contaminated vaccine  
FMD introduction and exposure pathway in Rio Grande do Sul state, Brazil



**Scenario tree - FMD introduction and exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil (4/6)**

**Pathway 3 – FMD virus contaminated animal products**

FMD introduction and exposure pathway in Rio Grande do Sul, Brazil

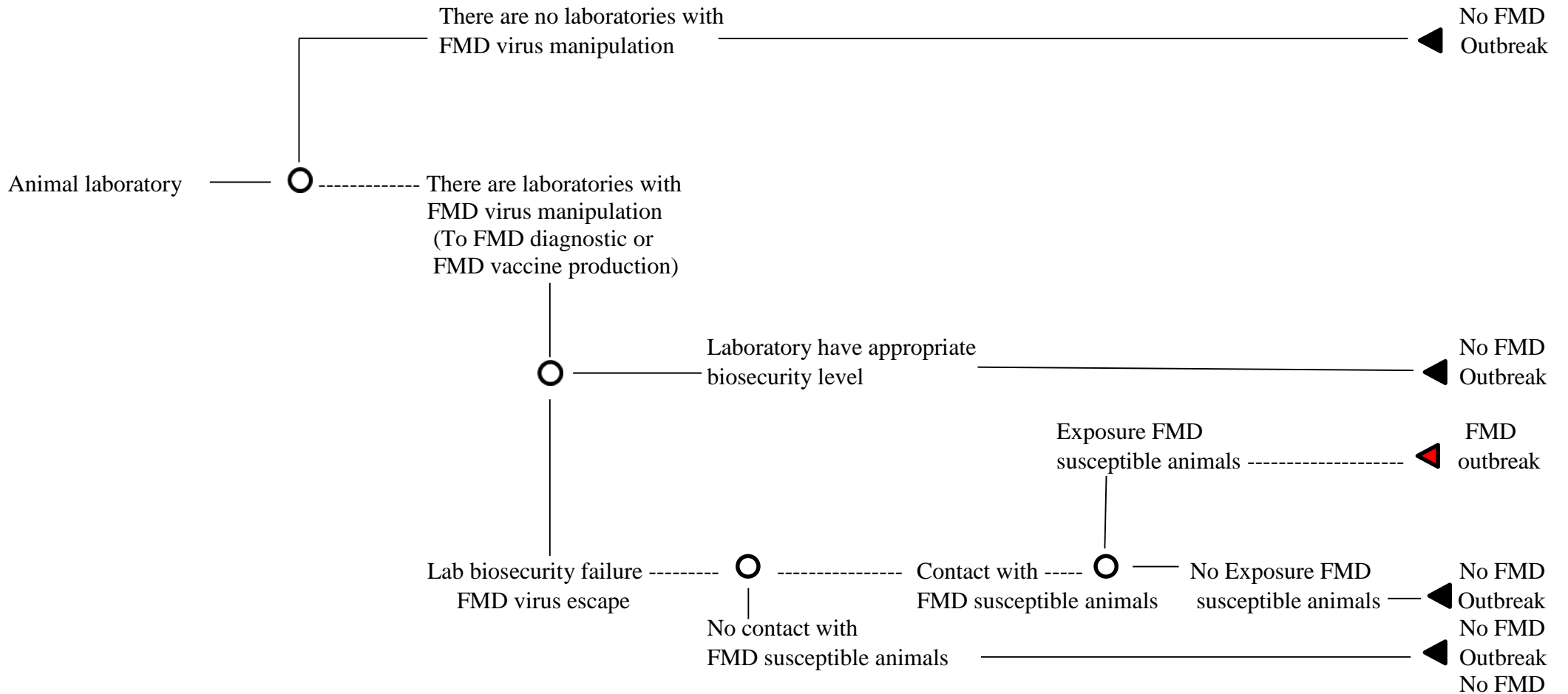


Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

**Scenario tree - FMD Introduction and Exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil (5/6)**

**Pathways 4 – FMD virus laboratory escape**

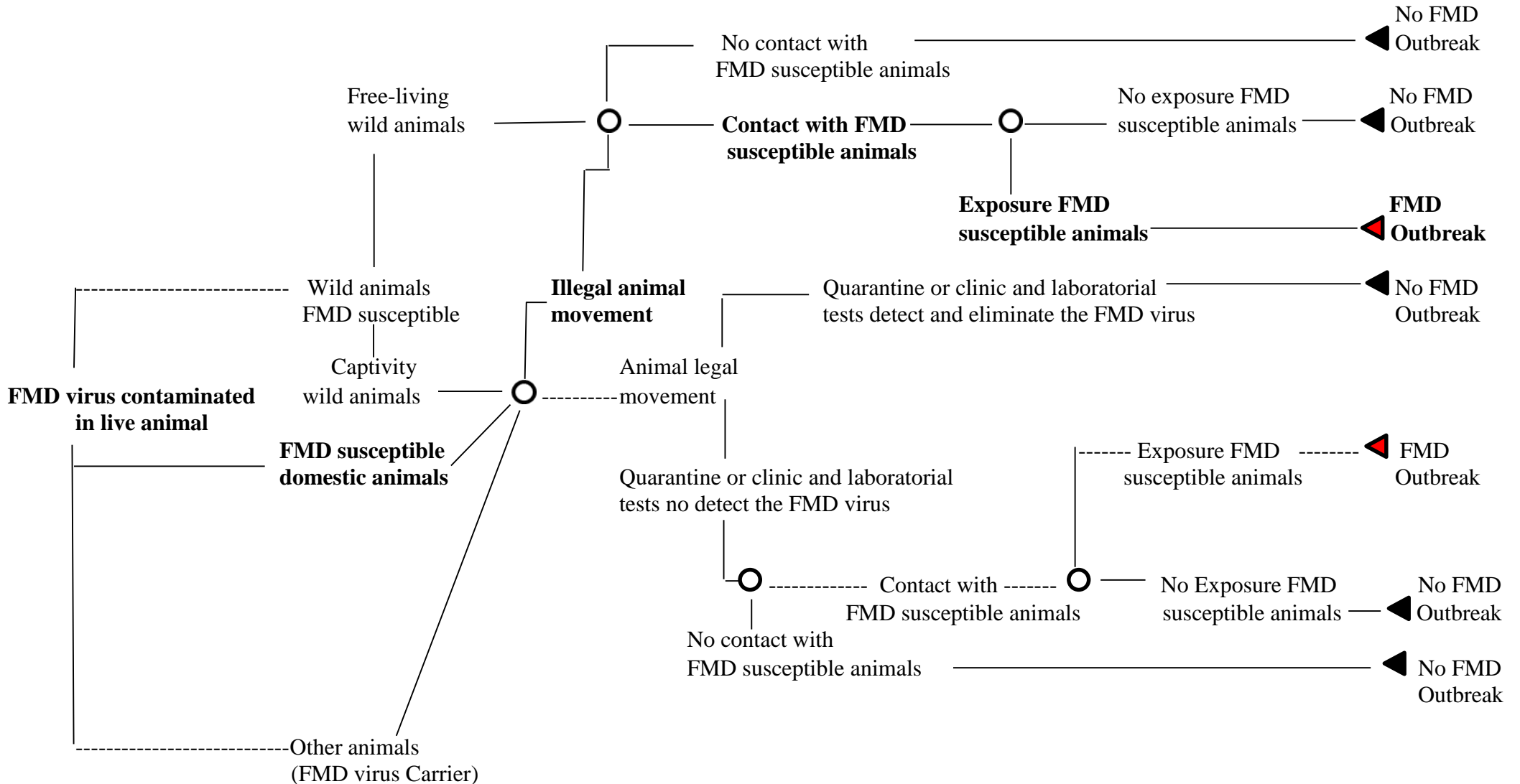
FMD introduction and exposure pathway in Rio Grande do Sul, Brazil



Title: Identification of Foot and Mouth Disease risk areas using a multi-criteria analysis approach - Supplementary material

Scenario tree - FMD introduction and exposure pathways in Rio Grande do Sul, Brazil (6/6)

Pathway 5 – the FMD virus contaminated live animals  
 FMD introduction and exposure pathway in Rio Grande do Sul, Brazil



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ciência do risco apresenta diversas ferramentas que podem contribuir para que os gestores escolham as melhores e mais eficientes ações visando à mitigação dos riscos avaliados. A escolha da melhor metodologia e técnica a ser empregada na AR, em especial na etapa de avaliação de riscos, irá depender do perigo ou problema identificado, dos dados disponíveis para a análise, assim como do objetivo do estudo. Não há uma melhor técnica, mas, sim, uma técnica que melhor se adapte ao problema proposto, sendo que a escolha do método a ser executado dependerá dos avaliadores de risco e influenciará, diretamente, nos resultados obtidos.

Na área animal, em nível nacional, os estudos de AR ainda são incipientes. Os desafios para o desenvolvimento de AR pelo SVO brasileiro ainda são grandes, destacando-se aqueles relacionados à falta de dados e de pessoal capacitado. Alternativas como a criação de um sistema *web* nacional de monitoria e vigilância e a formatação de parcerias com universidades e instituições de pesquisas, no entanto, tornam possível evoluir na produção de dados e formação e capacitação de profissionais nessa área, objetivando que, em um futuro próximo, o SVO brasileiro possa realizar diversas AR de seu interesse, visando a dar suporte aos gestores na implantação de políticas públicas na área da saúde animal, além de proteger a sanidade dos rebanhos nacionais.

Dentro desse contexto, utilizando a técnica de múltiplos critérios, foi realizada uma avaliação de riscos no Rio Grande do Sul para identificar as áreas de risco de ocorrência da febre aftosa. O estudo determinou que as regiões próximas à fronteira internacional e na região de Estrela/RS possuem um maior risco da ocorrência da enfermidade quando comparadas com as demais regiões do estado. Quando analisada a performance do sistema de vigilância para a febre aftosa nas diferentes regiões do estado, percebe-se que as regiões sudoeste e sudeste possuem a melhor média de desempenho em comparação as outras regiões.

Conforme já havia sido descrito em outros estudos utilizando a opinião de especialistas (EMAMI et al., 2015; WIELAND et al., 2015), este trabalho também concluiu que a forma mais importante para o ingresso do vírus da febre aftosa é pela movimentação ilegal de animais e, para a disseminação, o contato direto entre os animais. Variáveis secundárias mostraram as áreas que possuem um maior risco para cada caminho de introdução e de disseminação do vírus no Rio Grande do Sul. Essas análises em separado podem ser importantes, pois os gestores poderão tomar medidas diferenciadas



em cada região, buscando, especificamente, mitigar o risco de introdução ou, se for o caso, de disseminação do vírus, tornando, assim, as ações mais eficientes.

Atualmente, a escolha e a caracterização das propriedades de maior risco para a ocorrência da febre aftosa são realizadas pelo fiscal estadual agropecuário na sua área de abrangência, conforme pré-requisitos estabelecidos no Programa Nacional de Prevenção e Erradicação da Febre Aftosa (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2009). Esse modelo proposto no estudo poderia ser inserido no banco de dados do SVO gaúcho e realizar automática e rotineiramente uma classificação das áreas e propriedades rurais quanto ao risco da ocorrência de febre aftosa em cada região (abrangência da unidade veterinária local) e auxiliar o fiscal estadual agropecuário na escolha das suas propriedades de maior risco para febre aftosa, de forma transparente e igualitária em todo o estado.

O modelo mostrou ter um bom ajuste, entretanto alguns focos no passado não ocorreram nas áreas de maior risco identificadas. Um exemplo disso se deu na análise dos focos ocorridos no ano de 2000 (Figura 4, Artigo II), onde, apesar de estarem próximos de área de maior risco, todos os focos ocorreram fora dessas áreas. Além do fato de que os dados utilizados para identificação das áreas de maior risco são do ano de 2013, portanto, uma fotografia diferente daquela do ano de 2000, esse episódio demonstra que o modelo está determinando as áreas com maior vulnerabilidade<sup>4</sup> para a ocorrência da doença. Contudo áreas de menor vulnerabilidade também possuem os requisitos necessários para a ocorrência da febre aftosa e não devem ser negligenciadas pelo sistema de vigilância animal.

Devido à magnitude territorial do estudo, o qual abrange todo o Rio Grande do Sul, os dados apresentados foram agrupados por mesorregião, muitas vezes perdendo uma maior sensibilidade da análise. Entretanto o estudo por múltiplos critérios gera uma informação com maior detalhamento, podendo fazer classificações por nível de município ou, até mesmo, por área dentro do município. Essa informação estará disponível aos gestores, que poderão utilizá-la da forma que seja mais conveniente para a tomada de decisão.

Projetos futuros poderão ser realizados para melhorar este trabalho inicial e responder aos novos questionamentos surgidos após a realização deste estudo. Um estudo piloto, com um município ou região que já esteja com todas as propriedades rurais georreferenciadas poderia ser realizado a fim de comparar os resultados com este estudo,

---

<sup>4</sup> Probabilidade de uma determinada população ou área geográfica ser afetada por risco potencial de desastre (ocorrência de um foco de febre aftosa), estabelecida por estudos e indicadores técnicos.

que utilizou grande parte dos dados em nível de município. Além disso, a técnica utilizada e o modelo criado permitem que os dados sejam constantemente atualizados e rotineiramente discutidos entre os gestores, tornando, assim, a ferramenta bastante dinâmica. Nesse mesmo propósito, a busca de dados cada vez mais precisos poderá aumentar a exatidão do modelo. Para análises futuras, novos dados espaciais poderão ser inseridos, como informações da malha rodoviária, regiões de mata, rios, dentre outras variáveis ambientais que possam influenciar na introdução ou espalhamento dessa doença.

Outro aspecto interessante seria criar um sistema *on-line* para disponibilizar, à população interessada, a consulta aos dados espaciais existentes na Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação, seguindo o modelo existente na Austrália (MCAS-S, 2014), e, conseqüentemente, aumentando o número de estudos de interesse para o SVO gaúcho. A avaliação da performance do sistema de vigilância também poderia ser encorpada com a adição de outras variáveis relacionadas a outras enfermidades animais, já que a atenção da unidade veterinária é realizada não somente para uma doença, mas sim para um conjunto de enfermidades e espécies animais (EAST et al., 2013).

No Rio Grande do Sul, assim como em outros estados brasileiros, há um debate quanto à manutenção ou retirada da vacinação de bovinos e bubalinos contra a febre aftosa. Para tomar essa decisão, diversos fatores devem ser avaliados e, portanto, a utilização da AR pode auxiliar os gestores nessa importante escolha. Apesar de ainda ser pouco utilizada no Brasil, a partir da técnica de múltiplos critérios, foi realizado um estudo que identificou as regiões mais vulneráveis para a ocorrência da febre aftosa no RS. A partir disso, será possível reforçar as ações de vigilância nessas regiões de maior risco, a fim de mitigar o risco existente e, concomitantemente, caso seja de interesse do estado, de forma segura, iniciar o processo para se tornar uma área livre de febre aftosa sem vacinação.

## REFERÊNCIAS

- ARSEVSKA, E. et al. Identifying areas suitable for the occurrence of Rift Valley Fever in North Africa: implications for surveillance. **Transboundary and Emerging Diseases**, 2015.
- BARLOW, D. F. The aerosol stability of a strain of Foot-and-Mouth Disease virus and the effects on stability of precipitation with Ammonium Sulphate, Methanol or Polyethylene Glycol. **Journal of General Virology**, v. 15, n. 1, p. 17-24, Jan. 1972.
- BARLOW, D. F.; DONALDSON, A. I. Comparison of the aerosol stabilities of Foot-and-Mouth Disease virus suspended in cell culture fluid or natural fluids. **Journal of General Virology**, v. 20, n. 3, p. 311-318, Jan. 1973.
- BAS, E. An investment plan for preventing child injuries using risk priority number of failure mode and effects analysis methodology and a multi-objective, multi-dimensional mixed 0-1 knapsack model. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 96, n. 7, p. 748-756, 2011.
- BASSO AMARAL, Thais. **Risk assessment of foot and mouth disease in the border between Brazil and Paraguay: a geographical approach**. Tese (Doutorado em Ciências Geográficas) – Université Laval, Département de Géographie, Québec, 2013.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BIER, V. M.; MOSLEH, A. The analysis of accident precursors and near misses: Implications for risk assessment and risk management. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 27, n. 1, p. 91-101, 1990.
- BRITO, B. P. et al. Review of the global distribution of Foot-and-Mouth Disease virus from 2007 to 2014. **Transboundary and Emerging Diseases**, 2015.
- BRITO, Mariana Madruga. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BROOKES, V. et al. Building a picture: Prioritisation of exotic diseases for the pig industry in Australia using multi-criteria decision analysis. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 113, n. 1, p. 103-117, 2014a.
- BROOKES, V. et al. Identifying and measuring stakeholder preferences for disease prioritisation: A case study of the pig industry in Australia. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 113, n. 1, p. 118-131, 2014b.
- BUHNERKEMPE, M. G. et al. The impact of movements and animal density on continental scale cattle disease outbreaks in the United States. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, 2014.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMPBELL, M. L. Organism impact assessment: risk analysis for post-incursion management. *ICES Journal of Marine Science*, v. 65, n. 5, p. 795-804, Jul. 2008.

CAMPOS, Maria Betânia Aparecida. **Métodos multicritérios que envolvem a tomada de Decisão**. TCC (Especialização em Matemática) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de matemática, Belo Horizonte, 2011.

CARON, A. et al. Relationship between burden of infection in ungulate populations and wildlife/livestock interfaces. *Epidemiology and Infection*, v. 141, n. 7, p. 1522-1535, 2013.

CARPENTER, T. E. et al. Epidemic and economic impacts of delayed detection of foot-and-mouth disease: a case study of a simulated outbreak in California. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 23, n.1, p. 26-33, 2011.

CARR, V.; TAH, J. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system. **Advances in Engineering Software**, v. 32, n. 10-11, p. 847-857, 2001.

CARVALHO, L.M. et al. Spatio-temporal dynamics of Foot-and-Mouth Disease virus in South America. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1505.01105?gathstaticon=true>>. Acesso em: 19 set. 2015.

CHARLESTON, B. et al. Relationship between clinical signs and transmission of an infectious disease and the implications for control. **Science**, v. 332, n.6030, p.726-729, 2011.

CHRISTENSEN, J.; VALLIÈRES, A. Scenario tree model for animal disease freedom framed in the OIE context using the example of a generic swine model for Aujeszky's disease in commercial swine in Canada. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 123, p. 60-70, 2016.

CILIBERTI, A. et al. Prioritisation of wildlife pathogens to be targeted in European surveillance programmes: Expert-based risk analysis focus on ruminants. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 118, n. 4, p. 271-284, 2015.

COVELLO, V. T.; MERKHOFFER, M. W. **Risk assessment methods**: approaches for assessing health and environmental risks. New York: Plenum Press, 1993.

COX JR., L. A. What's wrong with risk matrices? **Risk Analysis**, v. 28, n. 2, p. 497-512, 2008.

COX, R.; REVIE, C. W.; SANCHEZ, J. The use of expert opinion to assess the risk of emergence or re-emergence of infectious diseases in Canada associated with climate change. **PLoS ONE**, v. 7, n. 7, 2012.

COX, R.; SANCHEZ, J.; REVIE, C. W. Multi-criteria Decision Analysis tools for prioritising emerging or re-emerging infectious diseases associated with climate change in Canada. **PLoS ONE**, v. 8, n. 8, Jul. 2013.

EAST, I. et al. Use of a multi-criteria analysis framework to inform the design of risk based general surveillance systems for animal disease in Australia. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, n. 3-4, p. 230-247, 2013.

EMAMI, J. *et al.* Risk factors for infection with Foot-and-Mouth Disease virus in a cattle population vaccinated with a non-purified vaccine in Iran. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 119, n. 3-4, p. 114-122, 2015.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **A value chain approach to animal diseases risk management**: technical foundations and practical framework for field application. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Foot-and-Mouth Disease Situation Monthly Report**. Dec. 2015.

Disponível em:

<[http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/eufmd/docs/FMD\\_monthly\\_reports/2015/D ec2015Final.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/eufmd/docs/FMD_monthly_reports/2015/D ec2015Final.pdf)>. Acesso em: 17 jan. 2016.

FIGUEIREDO H.C.P. et al. **Análise de Risco de Importação**: metodologia básica. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2012.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **Dados Abertos FEE**. Disponível em: <<http://dados.fee.tcche.br>>. Acesso em: 19 abr. 2014.

GARABED, R. et al. Use of expert opinion for animal disease decisions: An example of foot-and-mouth disease status designation. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 92, n. 1-2, p. 20-30, 2009.

GOHIN, A. et al. Dynamic impacts of a catastrophic production event: The Foot-and-Mouth Disease case. **Risk Analysis**, v. 33, n. 3, p. 480-492, 2013.

GRUBMAN, M.J.; BAXT, B. Foot-and-Mouth Disease. **Clinical Microbiology Reviews**. v. 17, n. 2, p. 465-493, 2004.

HASLER, B. et al. A qualitative approach to measure the effectiveness of active avian influenza virus surveillance with respect to its cost: a case study from Switzerland. **Preventive Veterinary Medicine**. v. 105, n. 3, p. 209-222, 2012.

ISODA, N. et al. Review: evaluation of Foot-and-Mouth Disease control using fault tree analysis. **Transboundary and Emerging Diseases**. v. 62, n. 3, p. 233-244, 2013.

KNIGHT-JONES, T. J.; RUSHTON, J.. The economic impacts of foot and mouth disease - what are they, how big are they and where do they occur? **Preventive Veterinary Medicine**, v. 112, n. 3-4, p.161-173, 2013.

LIN, X.-W. et al. Foot-and-Mouth Disease entrance assessment model through air passenger violations. **Risk Analysis**, v. 29, n. 4, p. 601–611, 2009.

MACDIARMID, S.C. Risk analysis and the importation of animals and animal products. **Revue scientifique et technique**, v. 12, n. 4, p. 1093-1107, 1993.

MACDIARMID, S.C.; PHARO, H. Risk analysis: assessment, management and communication. **Revue scientifique et technique**, v. 22, n.2, p.397-408, 2003.

MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. **Multicriteria decision analysis in geographic information science**. New York: Springer, 2015.

MARKOWSKI, A. S.; MANNAN, M. S. Fuzzy risk matrix. **Journal of Hazardous Materials**, v. 159, n. 1, p. 152–157, 2008.

MCAS-S. **Guide 3.1**. 2014. Disponível em:  
<<http://www.agriculture.gov.au/abares/data/mcass>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

MILLER, L. et al. Developing a quantitative risk assessment process. **Revue scientifique et technique**, v. 12, n. 4, p.1153-1164, 1993.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Campanha contra a febre aftosa**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1964.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Eliminação dos focos de febre aftosa no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2002.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Relatório Anual PNEFA – 2008**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2009. Disponível em:  
<[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/relatorio\\_pnefa\\_2008\\_final.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/relatorio_pnefa_2008_final.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2014.

MORGAN, M. G. Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 20, p. 7176-7184, Dec. 2014.

MURRAY N. et al. **Handbook on Import Risk Analysis for Animals and Animal Products**: introduction and qualitative risk analysis. Paris: OIE, 2004.

NI, H.; CHEN, A.; CHEN, N. Some extensions on risk matrix approach. **Safety Science**, v. 48, n. 10, p. 1269-1278, 2010.

NOGUEIRA, J.M. et al. **Análise Custo Benefício (ACB) de Estratégia de Controle da Febre Aftosa no Estado do Paraná**. Relatório Final. Curitiba: FAEP, 2010.

OIE – WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. **Análisis de Riesgo**: guia práctica. Paris: World Organisation for Animal Health, 2006.

OIE – WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. **Terrestrial animal health code**. Paris: World Organisation for Animal Health, 2012.

OIE – WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. **Disease information**. Disponível em: <<http://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/fmd-portal/about-fmd/disease-information>>. Acesso em: 19 jan. 2016a.

OIE – WORLD ORGANISATION FOR ANIMAL HEALTH. **OIE World Animal Health Information System**. Disponível em:

<[http://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/wahidhome/home](http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/wahidhome/home)>. Acesso em: 19 jan. 2016b.

OLASCOAGA, R. C. et al. Fiebre aftosa. Rio de Janeiro: Centro Panamericano de Febre Aftosa, 1999.

POUILLOT, R. et al. A risk assessment of Campylobacteriosis and Salmonellosis linked to chicken meals prepared in households in Dakar, Senegal. **Risk Analysis**, v. 32, n. 10, p. 1798-1819, 2012.

RIVIÈRE, J. et al. Sensitivity of bovine tuberculosis surveillance in wildlife in France: A scenario tree approach. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, 2015.

RUEDA, C. B. D. et al. Quantification of transmission of foot-and-mouth disease virus caused by an environment contaminated with secretions and excretions from infected calves. **Veterinary Research**, v. 46, n. 1, 2015.

SANCHEZ-VIZCAINO, F. et al. A quantitative assessment of the risk for highly pathogenic avian influenza introduction into Spain via legal trade of live poultry. **Risk Analysis**, v. 30, n. 5, p. 798-807, 2010a.

SANCHEZ-VIZCAINO, F. et al. Quantification of the risk for introduction of virulent Newcastle disease virus into Spain through legal trade of live poultry from European Union countries. **Avian Pathology**, v. 39, n. 6, p. 459-465, 2010b.

SCHAFFNER, D.W. **Microbial Risk Analysis of Foods**. Washington: ASM Press, 2008.

SCHIJVEN, J.; RIJS, G. B. J.; HUSMAN, A. M. D. R. Quantitative risk assessment of FMD virus transmission via Water. **Risk Analysis**, v. 25, n. 1, p. 13-21, 2005.

VALARCHER, J.-F. et al. Incursions of Foot-and-Mouth Disease virus into Europe between 1985 and 2006. **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 55, n. 1, p. 14-34, 2008.

VIAL, F. et al. Bovine tuberculosis risk factors for British herds before and after the 2001 Foot-and-Mouth Epidemic: What have we learned from the tb99 and CCS2005 studies? **Transboundary and Emerging Diseases**, v. 62, n. 5, p. 505-515, 2013.

VILAS, V. J. D. R. et al. An integrated process and management tools for ranking multiple emerging threats to animal health. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 108, n. 2-3, p. 94-102, 2013.

WHEELER, D.J. **Problems with risk priority numbers**. Quality Digest. Disponível em: <<https://www.qualitydigest.com/inside/quality-insider-article/problems-risk-priority-numbers.html>>. 2013. Acesso em: 13 nov 2013.

WIELAND, B. et al. Foot and mouth disease risk assessment in Mongolia – Local expertise to support national policy. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 120, n. 1, p. 115-123, 2015.

XIAO, N. et al. Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. **Engineering Failure Analysis**, v. 18, n. 4, p. 1162-1170, 2011.

ZANG, Y.-T. et al. Construction of index system for external risk factors of disease on large-scale farm based on the analytic hierarchy process. **Procedia Engineering**, v. 37, p. 274-280, 2012.