

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Procedimento para análise de decisão quanto à prevenção de doenças em  
animais: uma aplicação da Teoria dos Jogos**

**Luciana Torrezan Silveira**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Ciências, Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba  
2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Luciana Torrezan Silveira**  
**Bacharel em Ciências Econômicas**

**Procedimento para análise de decisão quanto à prevenção de doenças em animais: uma aplicação da Teoria dos Jogos**

Orientador:  
Profa. Dra. **HELOISA LEE BURNQUIST**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba**

**2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Silveira, Luciana Torrezan

Procedimento para análise de decisão quanto à prevenção de doenças em animais:  
uma aplicação da Teoria dos Jogos / Luciana Torrezan Silveira. - - Piracicaba, 2008.  
177 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.  
Bibliografia.

1. Carnes e derivados 2. Febre aftosa 3. Pecuária 4. Prevenção de doenças  
animais 5. Teoria da decisão 6. Teoria dos jogos I. Título

CDD 338.176

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

**DEDICO**

Aos meus pais, João José (*in memoriam*) e Mairdes, e minha irmã Marina, que sempre estiveram ao meu lado nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à minha família, pelo apoio em todos os momentos da minha vida, e pelo amor dedicado.

Sou eternamente grata ao meu pai, que hoje me assiste de um lugar privilegiado, pelo exemplo de caráter e humildade, e à minha mãe, pelo exemplo de força e dedicação.

À Profa. Heloisa Lee Burquist, pela atenção e paciência durante todos esses anos de orientação, e por ter aceitado o desafio do desenvolvimento desse trabalho. Mais que orientadora, foi amiga, mãe, conselheira pessoal e profissional.

À Profa. Mirian R. Piedade Bacchi, pelas sugestões apontadas no desenvolvimento do trabalho, pela amizade e atenção dedicadas.

Aos Professores Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros e Sérgio De Zen, pelas valiosas contribuições apresentadas na etapa da qualificação.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, que contribuíram para a minha formação profissional e para a finalização desse trabalho. Em especial à Maielli, por toda a dedicação ao programa e aos alunos da pós-graduação.

Ao Carlos, pelo afeto, companheirismo e compreensão, principalmente na reta final deste trabalho.

A todos os amigos da pós-graduação e da ESALQ, que de alguma forma contribuíram para este trabalho, principalmente pelos momentos de descontração. De maneira especial, agradeço aos que acompanharam mais de perto essa jornada: Louise, Thelma, Francine, Mariana, Gustavo, Daniela, Simone, Maurício, e Luiz Fernando.

Ao *Center for Brazilian Studies* da *SIPA – School of International and Public Affairs – Columbia University*, em nome do Prof. Albert Fishlow, pela oportunidade em aprofundar meus conhecimentos na Teoria dos Jogos e realizar parte da tese nesta brilhante universidade. Sou grata também ao Prof. David Epstein, pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Agradeço também ao Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura e ao Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso - Indea, pelas importantes informações fornecidas.

À equipe de carnes do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – Cepea/ESALQ, pelos dados disponibilizados.

Finalmente, agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro durante o curso e para a realização da viagem aos Estados Unidos.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE QUADROS .....	14
LISTA DE TABELAS .....	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS .....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	21
3.1 O mercado internacional de carnes e a posição do Brasil .....	21
3.1.1 O mercado de carne bovina .....	23
3.1.2 Aspectos do mercado de carne bovina no Brasil.....	30
3.2 Revisão de análises enfocando os efeitos econômicos de surtos de doença e aplicações da Teoria dos Jogos .....	34
3.2.1 Análises voltadas aos impactos econômicos de surtos de doença em animais .....	35
3.2.2 Análises voltadas à prevenção contra doenças em humanos e animais .....	40
3.2.3 Análise de decisões estratégicas e Teoria dos Jogos aplicados à questão de doenças .....	42
3.3 Febre aftosa: aspectos epidemiológicos e econômicos .....	48
3.3.1 Características e evolução da febre aftosa no Brasil e no mundo .....	48
3.3.2 Profilaxia e prevenção da febre aftosa no Brasil e em outros países.....	60
3.3.3 Implicações da febre aftosa para o Brasil.....	71
3.4 Restrições comerciais ao comércio de produtos agropecuários .....	78
3.4.1 O Acordo SPS/OMC .....	80
4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	83
4.1 A Teoria dos Jogos .....	83
4.1.1 Breve história da Teoria dos Jogos.....	83
4.1.2 Conceitos importantes da Teoria dos Jogos .....	85
4.1.2.1 Conceitos que definem o modelo .....	85
4.1.2.2 Conceitos que classificam os jogos .....	87
4.1.2.3 Definição de equilíbrio .....	90

4. 1.2.4 Equilíbrio que caracteriza o dilema dos prisioneiros.....	91
4.2 Definição de jogo para uma análise generalizada .....	94
4.2.1 Cenário 1: jogo sem a intervenção do governo .....	94
4.2.2 Cenário 2: jogo com a intervenção do governo.....	103
4.2.3 Definição dos <i>payoffs</i> .....	104
4.3 Dados utilizados na aplicação empírica do modelo .....	109
5 RESULTADOS .....	111
5.1 Análise das estratégias e determinação do equilíbrio no cenário básico sem a intervenção do governo .....	111
5.1.1 Contexto em que $p$ é diferente nas diferentes situações quanto à prevenção.....	120
5.1.2 Variações nos custos de controle/descontaminação da doença ( $c_{cij}$ ) e nos outros custos de produção ( $c_{oij}$ e $c_{rij}$ ) .....	122
5.1.3 Pressuposição de que o custo de prevenção $c_{pij}$ é variável, e não mais fixo por animal ...	123
5.1.4 Considerando que o risco percebido do animal contrair a doença é menor que o risco real (ou verdadeiro) .....	124
5.1.5 Se o mercado tem estrutura oligopolista ao invés de competitiva.....	125
5.1.6 Generalizando o jogo para o caso em que envolve muitos produtores .....	128
5.2 Análise das estratégias e determinação do equilíbrio no cenário básico com a intervenção do governo .....	131
5.3 Resultados empíricos.....	137
5.3.1 Aplicação empírica do modelo – simulação para o caso de febre aftosa em bovinos, sem intervenção do governo .....	137
5.3.1.1 Considerando a existência de um prêmio para animais não vacinados.....	141
5.3.1.2 Pressupondo uma situação onde a barreira sanitária imposta em decorrência do surto de febre aftosa gera impacto sobre os preços dos animais .....	143
5.3.2 Extensões do modelo – variações na estrutura do jogo, sem intervenção do governo.....	147
5.3.2.1 Jogo sequencial com informação completa e perfeita.....	147
5.3.2.2 Jogo extensivo com informação completa e imperfeita .....	152
5.3.2.3 Jogo estratégico com informação incompleta .....	154
5.3.2.4 Jogos repetitivos .....	163

5.3.3 Análise empírica das estratégias e determinação do equilíbrio no cenário com a intervenção do governo .....	164
6 CONCLUSÕES .....	167
REFERÊNCIAS .....	172

## RESUMO

### **Procedimento para análise de decisão quanto à prevenção de doenças em animais: uma aplicação da Teoria dos Jogos**

A hipótese básica do presente trabalho é que embora a ocorrência de uma determinada doença possa apresentar impactos econômicos expressivos para a pecuária de um país - onerando não apenas a atividade produtiva - alguns produtores não reconhecem, individualmente, a importância devida em adotar medidas preventivas, uma vez que a ocorrência da doença não é frequente. Ademais, a existência de externalidades faz com que a ação de um produtor em relação às medidas sanitárias de seu rebanho afete os demais produtores da mesma região, o que também pode não ser percebido por eles. Diante disso, o presente trabalho desenvolve um procedimento teórico para a análise de decisões estratégicas dos produtores quanto à prevenção contra doenças em animais, face ao risco de contaminação de seu rebanho. O desenvolvimento do modelo é baseado nos preceitos da Teoria dos Jogos, e na análise econômica de benefício/custo como suporte da tomada de decisão do produtor. Depois de modelado o problema e determinados os possíveis equilíbrios do jogo, infere-se sobre as possíveis atuações do governo, no uso de incentivos econômicos (como indenizações e multas) para que o equilíbrio seja o da prevenção. Em seguida, o modelo teórico é aplicado a um caso específico de surto de febre aftosa no Brasil. Os resultados mostram que quando não se tem um mercado diferenciado para animal não vacinado, o equilíbrio do jogo tende para a situação onde os produtores decidem vacinar seu rebanho, sugerindo que não existe a necessidade de intervenção do governo para estimular a prevenção. Na prática, no entanto, o governo brasileiro estabelece políticas de incentivo, visto que alguns produtores não vacinam seu rebanho mesmo conhecendo os riscos, o que se traduz na falta de racionalidade dos mesmos. Considerando essa irracionalidade por parte de alguns produtores, o presente estudo é importante para que estes possam delinear panoramas de decisão, de forma a identificar as melhores ações a serem tomadas de forma coletiva.

Palavras-chave: Teoria dos Jogos; Febre aftosa; Produção e comercialização; Pecuária; Análise benefício/custo; Teoria da Decisão

## ABSTRACT

### **Procedure for decision analysis on prevention against animal diseases: an application of Game Theory**

The basic hypothesis of this study is that producers do not perceive, individually, the importance of adopting prevention measures, even when aware of the economic risks for them and for the local economy, because the outbreaks of some diseases are not frequent. Moreover, the presence of externalities is such that the action of one producer regarding sanitary measures of the herd affects other producers in the same region, which also cannot be perceived by them. This study aims to develop a theoretical procedure to infer about strategic decisions taken by producers to prevent animal disease in their herds, in face of the risk of contamination. The development of the model is based on the Game Theory, and the benefit cost analysis as support for producer's decision. After modeling the problem and determining the equilibriums, these are used to elaborate inferences about possible actions of the government through economic incentives (such as indemnities and fines) to encourage the prevention. Then, the theoretical model is applied to a specific case of a foot-and-mouth disease (FMD) outbreak in Brazil. The results indicate that in the absence of a differential market for non-vaccinated animals, the game equilibrium tends to the situation where producer's decisions are to vaccinate their herd, suggesting that government intervention is not necessary. Even though, the Brazilian government uses incentive policies for the cattle vaccination since some producers do not vaccinate their animals, despite of their awareness of the risks, which suggests lack of rationality. Considering the irrationality of some producers, this study is important for them to delineate decisions scenes, identifying the best actions to be taken in the collective context.

Keywords: Game Theory; Foot-and-mouth disease; Meat sector; Benefit/cost analysis; Decision making theory

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maiores exportadores mundiais de carne bovina em 2006 (mil toneladas).....	24
Figura 2 - Maiores produtores mundiais de carne bovina em 2006 (mil toneladas).....	25
Figura 3 - Principais destinos da carne bovina brasileira (fresca, resfriada ou congelada); ano de 2006 (mil toneladas).....	27
Figura 4 - Maiores importadores de carne bovina (fresca, resfriada ou congelada) e participação do Brasil; ano de 2006 (mil toneladas) .....	28
Figura 5 - Rebanho bovino brasileiro por Estado; ano de 2005 (milhões de cabeças) .....	31
Figura 6 - Sazonalidade dos preços do boi gordo no Estado de São Paulo, 2004 a 2006, em R\$/@.....	33
Figura 7 - Exportações mensais brasileiras de carne bovina (mil toneladas) e preços médios de exportação (US\$/tonelada), janeiro/02 a dezembro/06.....	34
Figura 8 - Número de surtos de febre aftosa no Brasil (1970-2006*).....	53
Figura 9 - Condição de zonificação para erradicação da febre aftosa no Brasil em 2005 .....	58
Figura 10 - Evolução da vacinação contra febre aftosa no Brasil (1994-2004).....	70
Figura 11 - Evolução dos preços reais do boi gordo nos Estados de Goiás, São Paulo e Mato Grosso do Sul (R\$/@ - jan/01 a ago/06 – deflacionados pelo IGP-DI) .....	75
Figura 12 - Gastos com defesa sanitária animal no Brasil, por setor (US\$ milhões).....	77
Figura 13 - Modalidades que definem os jogos econômicos .....	89
Figura 14 - Matriz de payoffs representando o dilema dos prisioneiros .....	93
Figura 15 - Estrutura do jogo entre dois produtores na forma extensiva, em que suas decisões são tomar ou não ações preventivas contra doenças em animais.....	96
Figura 16 - Matriz de payoffs do jogo proposto.....	101
Figura 17 - Matriz de payoffs do jogo sem a intervenção do governo (Cenário 1) .....	108
Figura 18 - Matriz de payoffs do jogo com a intervenção do governo (Cenário 2).....	108
Figura 19 - Matriz de payoffs do jogo sem a intervenção do governo, considerando que cada produtor maximiza seu lucro .....	113
Figura 20 - Gráfico dos possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras, sem intervenção do governo, para $(d_{24}-d_{23}) > (d_{22}-d_{21})$ e $(d_{14}-d_{12}) > (d_{13}-d_{11})$ .....	115

Figura 21 - Gráfico dos possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras, sem intervenção do governo, para $(d_{24}-d_{23}) < (d_{22}-d_{21})$ e $(d_{14}-d_{12}) < (d_{13}-d_{11})$ .....	118
Figura 22 - Matriz de payoffs com custo de prevenção variável .....	123
Figura 23 - Matriz de payoffs do jogo sem a intervenção do governo, num mercado duopolista.....	128
Figura 24 - Matriz de payoffs do jogo com a intervenção do governo, considerando que cada produtor maximiza seu lucro .....	134
Figura 25 - Gráfico dos possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras, com intervenção do governo .....	135
Figura 26 - Matriz de payoffs da análise empírica, para o cenário base .....	138
Figura 27 - Matriz de payoffs da análise empírica, para um prêmio de 10% sobre o preço .....	142
Figura 28 - Matriz de payoffs da análise empírica, para um prêmio de 33% sobre o preço do animal vacinado .....	142
Figura 29 - Matriz de payoffs para o caso de uma barreira sanitária reduzir o preço dos animais sadios.....	146
Figura 30 - Matriz de payoffs para o caso de uma barreira sanitária aumentar o preço dos animais sadios.....	146
Figura 31 - Jogo sequencial, com informação completa e perfeita .....	147
Figura 32 - Jogo sequencial, com informação completa e perfeita, e prêmio de 33% para animal não vacinado .....	149
Figura 33 - Jogo sequencial, com informação completa e perfeita, e prêmio de 50% para animal não vacinado .....	151
Figura 34 - Jogo sequencial, com informação completa e imperfeita .....	152
Figura 35 - Jogo sequencial, com informação completa e imperfeita, e prêmio para animais não vacinados .....	153
Figura 36 - Matriz de payoffs para o jogo em que o jogador 1 não tem certeza sobre a função de custo de seu oponente .....	156
Figura 37 - Payoffs esperados para o jogador 1, para os quatro possíveis pares de ação dos dois tipos de jogador 2.....	157
Figura 38 - Matriz de payoffs para o jogo em que o jogador 1 não tem certeza sobre a função de custo de seu oponente, considerando prêmio para animal não vacinado.....	159

Figura 39 - Payoffs esperados para o jogador 1, para os quatro possíveis pares de ação dos dois tipos de jogador 2, considerando prêmio para animal não vacinado .....	159
Figura 40 - Matriz de payoffs para o jogo em que ambos os jogadores não têm certeza sobre a função de custo de seu oponente.....	161
Figura 41 - Payoffs esperados para os dois tipos de cada jogador, para os quatro possíveis pares de ação dos dois tipos de seu oponente .....	162
Figura 42 - Matriz de payoffs da análise empírica, com intervenção do governo .....	165
Figura 43 - Matriz de payoffs da análise empírica, com intervenção do governo, e prêmio de 70% para animais não vacinados.....	166

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Países considerados livres de aftosa sem vacinação pela OIE .....	56
Quadro 2 - Evolução do reconhecimento de áreas livres da febre aftosa com vacinação no Brasil.....	57
Quadro 3 - Alterações no equilíbrio de Nash devido a mudanças nas variáveis .....	139

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Consumo per capita de carne bovina, suína e aves em países selecionados (2005, em kg/habitante/ano) .....	22
Tabela 2 - Estimativa de Faturamento com Exportações da Cadeia de Carne Bovina para o Brasil; ano: 2006.....	27
Tabela 3 - Oferta e Demanda de Carne Bovina no Brasil .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

A importância do setor de carnes para a economia brasileira pode ser verificada pelos seus números, uma vez que foi responsável por cerca de 17,4% das exportações do agronegócio e 6,2% das exportações totais do país em 2006, com uma receita de US\$ 8,6 bilhões, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (BRASIL, 2007).

Desde o início da década de 2000 o país vem assumindo posição de destaque tanto no mercado internacional de carne bovina como de frango.

No mercado internacional de carne bovina, o Brasil assumiu a posição de maior exportador mundial em 2004, tomando a posição da Austrália. No ano de 2005, o país produziu 8,6 milhões de toneladas de carne bovina e exportou 1,87 milhão de toneladas, o que representou 26,5% das exportações mundiais do setor (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2007). As expectativas para esse ano eram de aumento continuado nas exportações. No entanto, com a identificação de focos de febre aftosa nos estados do Mato Grosso do Sul e Paraná, em outubro e dezembro de 2005, respectivamente, um número expressivo de países vetou a entrada do produto brasileiro, o que prejudicou a consolidação dessas expectativas. Com um consumo interno em torno de 6,7 milhões de toneladas de carne bovina, as expectativas iniciais para 2005 eram de aumento do volume produzido e exportado para 8,7 e 2,1 milhões de toneladas, respectivamente (EXAME, 2005).

Os efeitos do surto de 2005 se estenderam até o primeiro semestre de 2006, quando se verificou queda de 79,6% no volume de carne bovina congelada comercializada no Mato Grosso do Sul, e de 76,5% no de carne fresca ou refrigerada (BRASIL, 2007).

Para a carne de frango, o Brasil assumiu, desde 2004, a liderança das exportações mundiais, ultrapassando os Estados Unidos. Em 2005, o Brasil embarcou 2,74 milhões de toneladas de carne de frango (crescimento de 13,4% em relação a 2004), obtendo uma receita de US\$ 3,2 bilhões. Embora expressivo, esse saldo foi inferior às expectativas do setor devido em parte ao embargo russo às carnes dos estados do Mato Grosso do Sul e do Paraná, também em função do surto de febre aftosa na região.

Acredita-se que a rápida queda do consumo de carne de frango nos países europeus, em virtude dos surtos de gripe aviária ocorridos em diversos países, reduziu a atração do consumidor

pelo produto, também contribuindo para que as exportações brasileiras de carne de frango em 2005 fossem inferiores às estimativas iniciais.

Além da febre aftosa e da gripe aviária, outros tipos de doenças têm sido argumento para a interrupção do comércio internacional de carnes ao longo dos últimos anos, como a febre suína clássica, febre suína africana, doença de Newcastle, Encefalopatia Espongiforme Bovina – BSE (também conhecida como “vaca louca”), peste bovina, entre outras.

Reações dessa natureza à contaminação de produtos agro-alimentares vêm se tornando cada vez mais frequentes nas relações de comércio internacional. Diante da eclosão de surtos de doenças em animais, os países importadores imediatamente proíbem a comercialização não apenas de carnes, como de seus subprodutos originados dos países afetados. Em alguns casos, o embargo atinge outros animais/produtos que não os diretamente contaminados, e chegam a se estender também para regiões que apresentam risco da doença, ainda que a contaminação não seja comprovada.

Segundo Lima et al. (2005), no ano de 2004, a despeito da grande inserção do Brasil do mercado mundial de carnes, o país deixou de vender carnes *in natura* para mercados que compraram US\$ 7,5 bilhões em carne bovina e US\$ 7 bilhões em carne suína em virtude de restrições causadas pela febre aftosa. No âmbito mundial, Kassum e Morgan (2002) estimam que um quarto do comércio de carne bovina e suína mundial ficou comprometido com as ocorrências de aftosa e BSE entre os anos 2000 e 2001.

Além da queda nas exportações em virtude dos embargos impostos pelos países importadores, a eclosão de surtos de doenças em animais implica em custos significativos de controle e recuperação da condição sanitária para os países diretamente afetados. Ademais, esses países perdem a confiança de importantes importadores no que diz respeito à sanidade e segurança de seus produtos. Por esse motivo, ao planejar sua estratégia exportadora, um país/produtor que depende da manutenção de um *status* de elevado nível de qualidade, sanidade e segurança para seu produto, deve considerar em sua análise o custo/benefício do controle/prevenção de sua produção.

Aparentemente, a prevenção de doenças é uma estratégia adequada para evitar efeitos adversos gerados pelos surtos (KEELING et al., 2003; BARRET, 2003b). No entanto, a prevenção implica em custos para o produtor, que nem sempre se dispõe a assumi-los, por

considerar o risco de infecção relativamente pequeno e por desconsiderar o custo decorrente de um surto para a economia do país.

Dada a importância do tema nos dias atuais, quando diversos países enfrentam problemas com doenças como a febre aftosa, gripe aviária, e vaca louca, dentre outras, torna-se interessante prever qual será o comportamento dos produtores, face ao risco de incidência de doenças que têm implicações econômicas. É importante considerar que essas implicações econômicas assumem duas dimensões diferentes: podem implicar em custos econômicos e financeiros tanto para o produtor, como para a economia como um todo.

Nesse contexto, torna-se importante o desenvolvimento de um procedimento que permita inferir sobre as decisões estratégicas dos produtores quanto à prevenção contra doenças em animais, tomando como base os preceitos da Teoria dos Jogos, considerando ainda benefícios, custos, e probabilidades associadas às diversas situações.

Diversos trabalhos identificados na literatura (BAUCH; EARN, 2004; BARRET, 2003b) tratam de analisar, através da Teoria dos Jogos, o equilíbrio esperado para o caso da prevenção contra doenças através da vacinação. Esses autores determinam que, quando a vacinação não é mandatória, o equilíbrio esperado é que os indivíduos não se vacinem, ou que a vacinação da população alcance uma proporção aquém do considerado ótimo. Isso ocorre porque, se um número relativamente grande de indivíduos é vacinado, aqueles que não o foram também passam a contar com uma proteção indireta à doença. Isso pode ser interpretado como uma externalidade positiva da vacinação, e que por vezes desestimula a vacinação de todos os indivíduos. Se a maioria dos indivíduos seguir essa lógica, o equilíbrio do jogo passa a ser a situação onde os indivíduos não se vacinam.

Cabe analisar, então, as decisões estratégicas dos produtores de animais, interagindo com relação às estratégias tomadas para evitar o risco da doença, e do setor público, em termos de política, para garantir que o equilíbrio do jogo seja o da ação preventiva.

## 2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

A hipótese básica da presente pesquisa é que embora a ocorrência de uma determinada doença possa apresentar impactos econômicos expressivos, tanto para o produtor como para outros agentes da economia, alguns produtores não reconhecem, individualmente, a importância em adotar medidas preventivas, uma vez que a ocorrência da doença não é frequente.

Ademais, a existência de externalidades faz com que a ação de um produtor em relação às medidas sanitárias de seu rebanho afete os demais produtores da mesma região, e possivelmente a economia local, o que também pode não ser percebido pelos produtores.

Considera-se importante, portanto, modelar as ações e interações entre os indivíduos, associando-as a possíveis estratégias e parâmetros, de forma a facilitar a identificação dos possíveis resultados econômicos dessas ações, e conseqüentemente inferir se estas estão de acordo com o esperado pelos agentes reguladores.

Uma segunda hipótese, decorrente da primeira, é que pode existir a necessidade de ação por parte de terceiros agentes - possivelmente o governo - organizando incentivos para promover decisões privadas de prevenção pelos produtores, quando esses não reconhecem as conseqüências externas de suas ações. Quando a tomada de ação pelo produtor para reduzir o risco de ocorrência da doença é um ação coletiva, no sentido que a ação de um produtor afeta os demais, o mercado, por si só, pode não ser capaz de sinalizar a necessidade de ação para o produtor.

Diante dessas hipóteses, o objetivo geral deste trabalho é aplicar a Teoria dos Jogos à análise de economia agrícola, considerando o caso da adoção de medidas preventivas em animais contra a ocorrência de surtos endêmicos<sup>1</sup>, dado que os impactos da contaminação estendem-se a todos os produtores de uma região afetada e possivelmente à economia do país.

Mais especificamente, procura-se:

1. Modelar o problema, considerando a decisão quanto à adoção de medidas preventivas contra doenças em animais por parte dos produtores, com base na análise de benefício/custo referente a cada situação proposta;

---

<sup>1</sup> Designa-se como **endemia** qualquer factor mórbido ou doença espacialmente localizada, temporalmente ilimitada, habitualmente presente entre os membros de um população e cujo nível de incidência se situe sistematicamente nos limites de uma faixa endêmica que foi previamente convencionada para uma população e época determinadas. Difere da epidemia por ser de carácter mais contínuo e restrito a uma determinada área.

2. Inferir sobre os possíveis comportamentos dos produtores, face ao risco de contaminação de seu rebanho, bem como sobre possíveis atuações de um agente regulador, se necessário;
3. Validar e testar o modelo, utilizando-se dados empíricos para um caso de febre aftosa ocorrido no Brasil; e
4. Estender o modelo proposto, considerando diferentes tipos de jogos, e cenários distintos para as variáveis consideradas.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 O mercado internacional de carnes e a posição do Brasil**

Visto que o presente trabalho visa desenvolver uma metodologia para análise das decisões de produtores e do governo em situações relacionadas à prevenção de doenças em animais destinados ao consumo humano, é importante que se apresente o panorama mundial do mercado de carnes, bem como a posição do Brasil nesse mercado. Maior ênfase será dada ao mercado de carne bovina, dado que a aplicação do modelo teórico aqui desenvolvido aborda o caso da vacinação de bovinos contra a febre aftosa.

Segundo Ferreira (2006), o perfil do mercado mundial dos três principais tipos de carne (bovina, suína, e frango) vem sofrendo mudanças ao longo dos últimos anos, devido a fatores como protecionismo, crises econômicas em diversos países e problemas relacionados à segurança alimentar (febre aftosa, mal da vaca louca, gripe aviária, entre outros).

Segundo USDA (2007), a produção mundial de carnes (considerando aves, bovinos e suínos) atingiu 218 milhões de toneladas no ano de 2006, para um consumo de cerca de 214 milhões de toneladas. Em dez anos a produção cresceu cerca de 32%, e o consumo aumentou em 31%. Os países em desenvolvimento foram os grandes responsáveis pelo crescimento de consumo e produção nos últimos anos e a tendência é que estes continuem puxando as médias mundiais (FERREIRA, 2006).

Desagregando-se os dados entre os tipos de carne, percebe-se que a produção, e consequentemente o consumo de carne suína é com grande vantagem a de maior importância no contexto mundial, seguida pela carne de aves. Em 2006, foram produzidas 99 milhões de toneladas de carne suína, 65 milhões de toneladas de carne de aves (frango e peru), e 53,8 milhões de toneladas de carne bovina (USDA, 2007). Nos últimos dez anos, a produção desses três tipos de carne aumentou em 40%, 38%, e 13%, respectivamente.

A China concentra um volume expressivo da produção mundial de carne suína, cerca de 53% do total mundial, enquanto a de aves e bovina é bastante pulverizada entre as nações.

Pelo lado do consumo, o mix das carnes varia bastante entre os países do mundo. Nos EUA o consumo de carne bovina e frango é alto, em parte devido à expansão das redes de fast food. Já na UE o consumo de carne suína é predominante, com uma taxa que excede os 63

quilos/habitante/ano (Tabela 1). Isso decorre do hábito de se alimentarem com embutidos, tais como presuntos, defumados, linguiças e salames.

Na Ásia ocorre uma maior diversificação. Enquanto na China prevalece o consumo de carne suína, principalmente por ser uma proteína de subsistência familiar de baixo custo, no Japão o consumo de pescados tem maior destaque. Na Austrália e no Mercosul, incluindo aqui o Brasil, a predominância de consumo é da carne bovina, dado que esses são abundantes em extensões territoriais e, assim, podem produzir carne proveniente de pasto natural a baixo custo relativo. Além disso, as produções de suínos e frango, por serem feitas em granjas, exigem grandes investimentos em instalações e alimentação balanceada. Em outros países, são as questões religiosas que ditam o consumo. Na Índia, por exemplo, o consumo de carne bovina é pequeno, enquanto, nos países árabes a carne suína é banida do cardápio, por motivos religiosos (FERREIRA, 2006).

Tabela 1 - Consumo per capita de carne bovina, suína e aves em países selecionados (2005, em kg/habitante/ano)

Países	Bovina	Suína	Aves
Argentina	63,0	5,0	32,9
Austrália	36,2	21,2	35,1
Brasil	36,3	10,5	36,1
Canadá	34,2	30,0	34,3
China	5,4	38,1	8,0
Coréia do Sul	9,0	27,1	12,3
Estados Unidos	42,7	29,2	52,9
Índia	1,5	0,5	1,7
Japão	9,4	19,6	14,7
México	23,5	15,1	29,8
Rússia	17,5	17,3	15,8
União Européia (25)	26,1	63,0	30,0

Fonte: Elaborado a partir de dados de USDA (2007), FAO (2007) e World Bank (2007)

No mercado de suínos, o Brasil ocupa a quarta posição como produtor, com 2,8 milhões de toneladas, que equivale a 2,8% do total mundial. Como exportador o país ocupa a quarta

posição, com 639 mil toneladas – o equivalente a 12% do comércio mundial do produto, segundo dados para 2006 (USDA, 2007).

Já no mercado de carne de frango, o Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores, atrás dos Estados Unidos e da China, com 9,365 milhões de toneladas (14,3% do total mundial). No que tange ao comércio internacional, no entanto, desde 2004 assumiu a liderança nas exportações do produto. Em 2006, foram embarcadas 2,5 milhões de toneladas do produto, o equivalente a 38,3% do volume comercializado mundialmente.

Segundo Ferreira (2006), a produção brasileira de carne suína e frango só não cresce a taxas mais elevadas devido aos altos juros disponíveis para investimentos no mercado interno, aos entraves do comércio internacional e ao aumento do consumo interno, que se tornou efetivo após o controle inflacionário e recuperação econômica.

### **3.1.1 O mercado de carne bovina**

Algumas mudanças significativas têm sido verificadas no mercado internacional de carne bovina nos últimos anos. Dentre essas, observa-se uma maior segmentação, devido à maior importância atribuída à identificação de: regiões livres de febre aftosa ou regiões endêmicas da doença; alimentação do gado com base em grãos ou pasto; mercados do Atlântico e do Pacífico; quotas “Hilton” da União Européia, dentre outros. Ainda que os produtores enfrentem competição dentro de cada segmento, a competição entre os segmentos é menor (EKBOIR et al., 2002).

A busca da erradicação da febre aftosa em diversos países é um dos fatores que vêm alterando o equilíbrio do mercado internacional de carne, em termos de preços, quantidade produzida, processada e comercializada, e o padrão de fluxo de comércio (EKBOIR et al., 2002).

Outra alteração verificada é o crescimento da demanda por cortes diferenciados de carne bovina, o que vem causando o aumento do comércio de cortes, ao contrário do comércio de carcaça, e conseqüentemente aumentando o valor agregado do produto.

Assim, de maneira geral, as forças que moldam o mercado internacional de carne bovina podem ser classificadas em: regulações comerciais internacionais, segmentação de mercado baseada em qualidade e barreira sanitária, e crescimento populacional.

Nesse cenário, o Brasil vem conseguindo se destacar no mercado internacional de carne bovina, passando a ocupar, desde o ano de 2004, a primeira posição nas exportações mundiais, tomando a posição que era da Austrália até o ano anterior (Figura 1).

O que contribuiu para o crescimento do Brasil no mercado mundial de carne bovina, a princípio, foram os diversos problemas sanitários (vaca louca e febre aftosa) enfrentados por alguns de seus principais concorrentes nos primeiros anos da década de 2000 (União Européia, Argentina e Uruguai) (SILVA et al., 2005).

A partir de então, com preços mais baixos e investimentos em tecnologia, o Brasil aumentou sua competitividade, tornando-se um importante *player* no mercado internacional de carne bovina. Em 2006, o país foi responsável por cerca de 29% das exportações mundiais do produto, com 2,1 milhões de toneladas embarcadas (USDA, 2007).

Entre os anos de 2000 e 2006, o volume de carne bovina exportado pelo Brasil cresceu em 330% (ESTADOS UNIDOS, 2007).

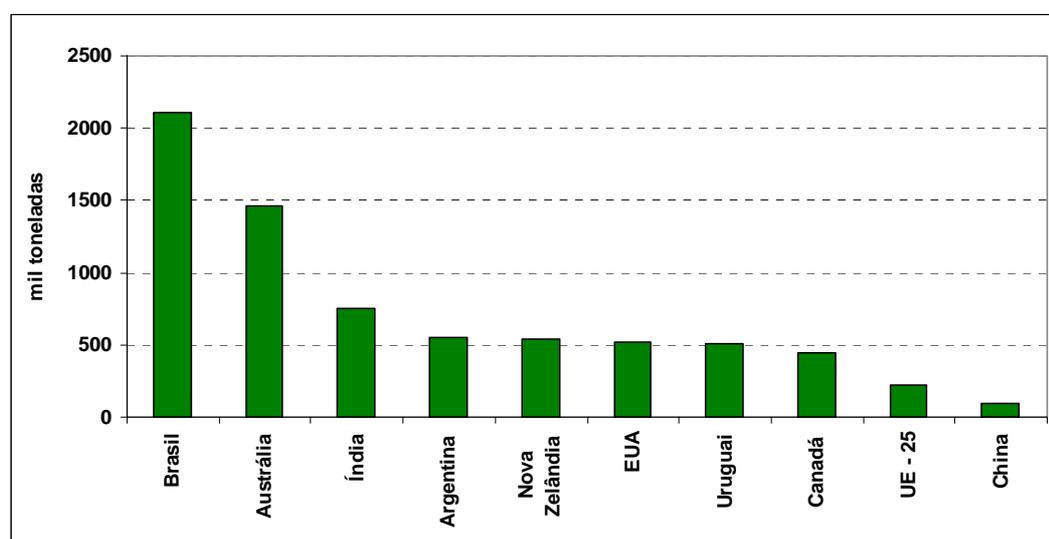


Figura 1 - Maiores exportadores mundiais de carne bovina em 2006 (mil toneladas)

Fonte: USDA (2007)

Os EUA, que até 2003 estavam entre os maiores exportadores mundiais de carne bovina, reduziram drasticamente suas exportações depois do surto de “vaca louca” que atingiu o país

naquele ano. Em 2006, o volume exportado foi de 523 mil toneladas, segundo USDA (2007), cerca de metade do que o país exportou em 2003, antes do surto.

O surto de “vaca louca” nos EUA, por outro lado, favoreceu as exportações da Austrália e Nova Zelândia, que viram seus embarques de carne bovina para mercados que geralmente pagam um preço superior para o produto, como Japão e Coréia, aumentarem de maneira significativa. Entre 2003 e 2006, as exportações de carne bovina da Austrália para esses dois países cresceram 68%, e da Nova Zelândia para estes mesmos mercados cresceram 77%, segundo dados do COMTRADE (UNITED NATIONS, 2007). Antes do embargo colocado pelo Japão à carne dos EUA, a carne bovina norte americana respondia por um terço da importação deste produto no Japão (SILVA et al., 2005).

Na produção de carne bovina, o Brasil ocupou o segundo lugar em 2006, atrás apenas dos Estados Unidos (Figura 2), e foi responsável por 9 milhões de toneladas, ou 16,7% da produção mundial de carne bovina, a qual gira em torno de 53,8 milhões de toneladas.

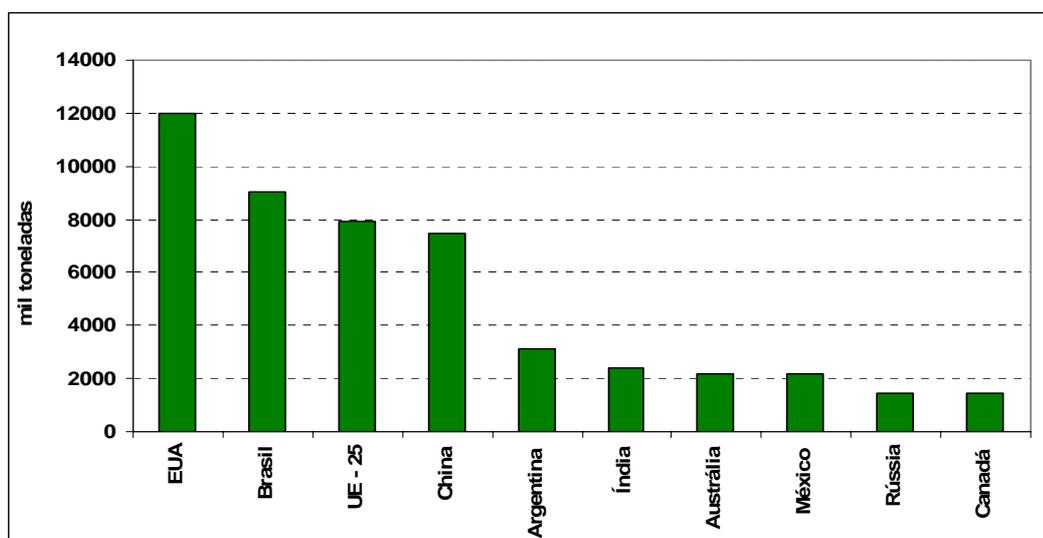


Figura 2 - Maiores produtores mundiais de carne bovina em 2006 (mil toneladas)

Fonte: USDA (2007)

Dentre os maiores produtores de carne bovina, deve-se destacar o elevado ritmo de crescimento da China e da Índia nos últimos anos. Na China, a produção de carne bovina tem crescido entre 5% e 7% ao ano desde 2002, em decorrência do aumento da demanda, estimulada

pelo aumento da renda da população, e pela substituição do consumo de aves por outros tipos de carne, em decorrência dos problemas de gripe aviária no país.

Na Índia, a produção cresceu entre 5% e 8% ao ano nesse mesmo período. No entanto, o país não vem investindo em tecnologia para desenvolver sua pecuária, mas mantém um dos maiores rebanhos mundiais, estimado em 185 milhões de cabeças (FAO, 2007). Visto que o consumo de carne bovina é pequeno no país, um elevado excedente exportável acaba sendo gerando, mantendo o país entre os maiores exportadores do produto.

No Brasil, a estimativa para 2007 é de um aumento entre 3% e 4% na produção de carne bovina, estimulada pela demanda e também como reflexo do maior investimento na produção e nas práticas produtivas, em recuperação depois do surto de febre aftosa ocorrido em 2005.

Em relação às exportações brasileiras de carne bovina, estas têm sido predominantemente na forma congelada e desossada, sendo uma pequena porção embarcada na forma mais processada e de maior valor agregado (Tabela 2).

O aumento das exportações da carne na forma desossada segue a alteração do padrão de comércio internacional nas últimas décadas, decorrente dos surtos de febre aftosa em diversos países, visto que a carne com osso apresenta maior risco de contaminação que a carne desossada (STEIN et al., 2001 apud SILVA; MIRANDA, 2006).

Em 2006, cerca de 72,9% das exportações brasileiras do setor foi embarcada na forma congelada desossada, seguida por preparações alimentícias e conservas (13,5%), e carne fresca ou resfriada desossada (8,1%).

Para este setor, o faturamento total com as exportações atingiu US\$ 3,9 bilhões em 2006 (Tabela 2). Isso representou um aumento de 29% em relação ao obtido em 2005, ano em que o surto de febre aftosa limitou o comércio da carne brasileira.

Tabela 2 - Estimativa de faturamento com exportações da cadeia de carne bovina para o Brasil, ano 2006

	Volume (toneladas)	Percentual do volume total (%)	Valor (US\$ mil)	Preço médio (US\$/tonelada)
Fresca ou resfriada desossada	122.645,95	8,1	666.523,96	5.434,54
Fresca ou resfriada não desossada	19,16	0,0	35,23	1.838,19
Congelada desossada	1.099.064,48	72,9	2.463.023,22	2.241,02
Congelada não desossada	3.692,95	0,2	4.923,62	1.333,25
Preparações alimentícias e conservas	203.940,84	13,5	655.063,62	3.212,03
Extrato e caldo de carne	3.570,71	0,2	19.894,63	5.571,61
Miúdos	75.523,98	5,0	92.863,34	1.229,59
Total	1.508.458,07	100	3.902.327,62	2.586,96

Fonte: Elaborada a partir de Brasil (2007)

Os principais destinos da carne bovina brasileira, considerando somente a carne fresca, resfriada ou congelada, são: Rússia, União Européia, Egito e Bulgária (Figura 3). Juntos, esses quatro países são responsáveis por 72,4% das exportações brasileiras de carne bovina.

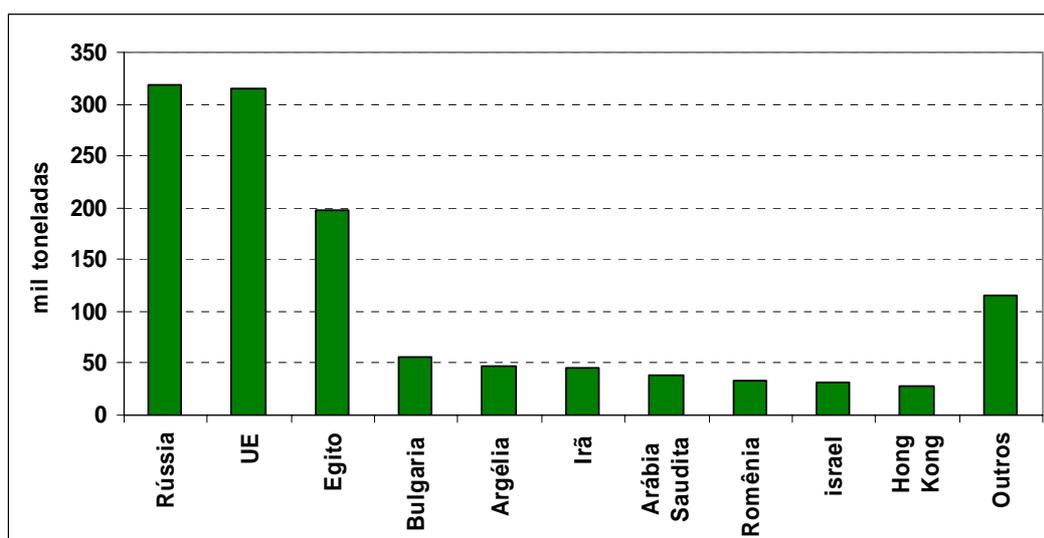


Figura 3 - Principais destinos da carne bovina brasileira (fresca, resfriada ou congelada); ano de 2006 (mil toneladas)

Fonte: Brasil (2007)

Dentre os dez maiores importadores mundiais de carne bovina (congelada, resfriada ou fresca), o Brasil exporta volumes consideráveis apenas para UE, Rússia, Egito e Filipinas (Figura 4). Em geral, os países para os quais o Brasil não exporta, ou comercializa um volume inexpressivo, são aqueles que mantêm seu mercado fechado à carne brasileira. Esses países não compram a carne brasileira por motivos de segurança e sanidade do produto, relacionada ao risco da febre aftosa, ou por razões puramente comerciais, como a preferência pelo comércio intra-bloco.

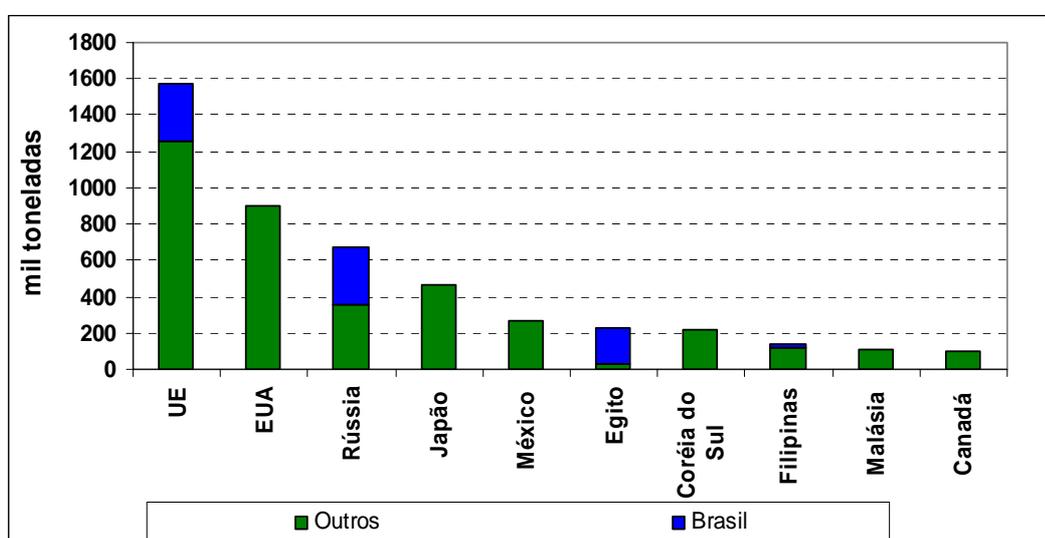


Figura 4 - Maiores importadores de carne bovina (fresca, resfriada ou congelada) e participação do Brasil; ano de 2006 (mil toneladas)

Fonte: United Nations (2007), USDA (2007) e Brasil (2007)

Os Estados Unidos, por exemplo, apesar do reconhecimento da Organização Mundial de Saúde Animal - Office International des Epizooties - OIE das áreas livres da febre aftosa com vacinação no Brasil, ainda exigem uma certificação própria para importarem o produto brasileiro *in natura*, a qual ainda não foi obtida. O primeiro pedido de certificação da carne brasileira foi feito ao Animal and Plant Health Inspection Service - APHIS em 1999, após o reconhecimento de Santa Catarina e Rio Grande do Sul como estados livres da febre aftosa com vacinação pelo OIE. Com o foco de agosto de 2000 no Rio Grande do Sul, o processo foi suspenso por solicitação do Brasil, e retomado somente em 2002, a pedido do país, porém a exportação de

carne *in natura* para o mercado norte-americano ainda não foi liberada. Para que isso ocorra, é preciso que o APHIS conclua a análise de risco avaliando a situação sanitária do Brasil quanto à aftosa (LIMA et al., 2005).

O Japão e a Coréia do Sul também não importam carne do Brasil, preferindo comprar o produto de países livres da aftosa sem vacinação. Em 2006 esses países compraram carnes dos EUA, Austrália, Nova Zelândia e México.

A Malásia permite a importação de carne desossada do Brasil, desde que comprovado que os animais e seus produtos são livres da febre aftosa.

O Canadá e México são grandes importadores de carne bovina, porém dão preferência ao comércio intrabloco, dentro do Acordo de Livre Comércio das Américas - NAFTA, além da Austrália e de alguns países da UE, portanto não importando carne do Brasil.

China e Jordânia também mantêm seus mercados fechados para a carne brasileira, mas não figuram entre os maiores compradores do produto no contexto mundial.

A UE, bem como a Rússia, mantém seus mercados abertos para a carne brasileira, permitindo, no entanto, apenas a entrada do produto originado de áreas livres de aftosa.

Assim, verifica-se que o status dos países quanto à doença afeta o desempenho econômico do setor exportador de carne bovina, restringindo o acesso ao mercado internacional. Países classificados como livre da febre aftosa sem vacinação têm o mercado aberto para exportação. Porém, no caso de um país livre da doença com vacinação, toda a carne exportada *in natura* deve ser desossada ou, no caso das processadas, tratada pelo calor antes de ser embarcada, isso se o país permitir a importação de carne proveniente de animal vacinado. Há países, como já mencionado, que somente importam carne de países livres sem vacinação (SILVA; MIRANDA, 2006).

Em termos de preço, o status em relação à doença também gera grande influência, além das características intrínsecas de qualidade.

Segundo Ekboir (2002), a carne bovina é uma *commodity* heterogênea, diferenciada de acordo com características que dependem: da raça do animal, tecnologia de produção (alimentação a pasto ou ração), idade do abate, corte da carne, e se a carne é fresca ou congelada.

Além disso, o preço da carne é influenciado por determinações políticas nos países importadores e exportadores, tais como regulamentos e padrões sanitários, tarifas, subsídios, e acordos governamentais que influenciam o fluxo de comércio de carnes.

A União Européia, por exemplo, estabelece a chamada quota Hilton para cortes de qualidade e preços superiores, a tarifas relativamente baixas, para produtos da Argentina, Brasil, Uruguai, Paraguai, Estados Unidos, Canadá, Austrália e Nova Zelândia.

Em relação ao status do país para a febre aftosa, a restrição imposta sobre mercados onde a doença é endêmica contribui para que exista um prêmio de até 50-60% para o produto de regiões livres da febre aftosa (EKBOIR, 2002).

### **3.1.2 Aspectos do mercado de carne bovina no Brasil**

A produção brasileira de carnes vem aumentando de maneira sustentada ao longo dos anos. Entre 1990 e 2006, a produção de carne bovina cresceu a uma taxa média anual de 3,6%, baseado em USDA (2007).

Devido à existência de uma regionalização do setor pecuário brasileiro, com diferentes ecossistemas para a pecuária bovina em três regiões produtoras independentes, ou "circuitos pecuários", e com a necessidade de se promover a descentralização das ações técnico-administrativas de controle da febre aftosa, foram criadas as Coordenações dos Circuitos Pecuários Sul, Centro - Oeste e Leste (através da Portaria no. 194 do Ministério da Agricultura, de 29 de novembro de 1994), definidos na revisão da Política e Estratégias de Combate à Febre Aftosa.

A Comissão de Coordenação do Circuito Pecuário Sul - CCCP/S, abrange os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina; a Comissão de Coordenação do Circuito Pecuário Centro - Oeste - CCCP/C abrange o Distrito Federal e os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Tocantins; e a Comissão de Coordenação do Circuito Pecuário Leste - CCCP/L, abrangendo os Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

O país possui o maior rebanho bovino do mundo, com 207,1 milhões de cabeças, segundo dados para 2005 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE,

2007), sendo os Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais os maiores criadores, com respectivamente 13%, 12% e 10% do rebanho brasileiro. Esses percentuais são expressos em milhões de cabeça na Figura 5.

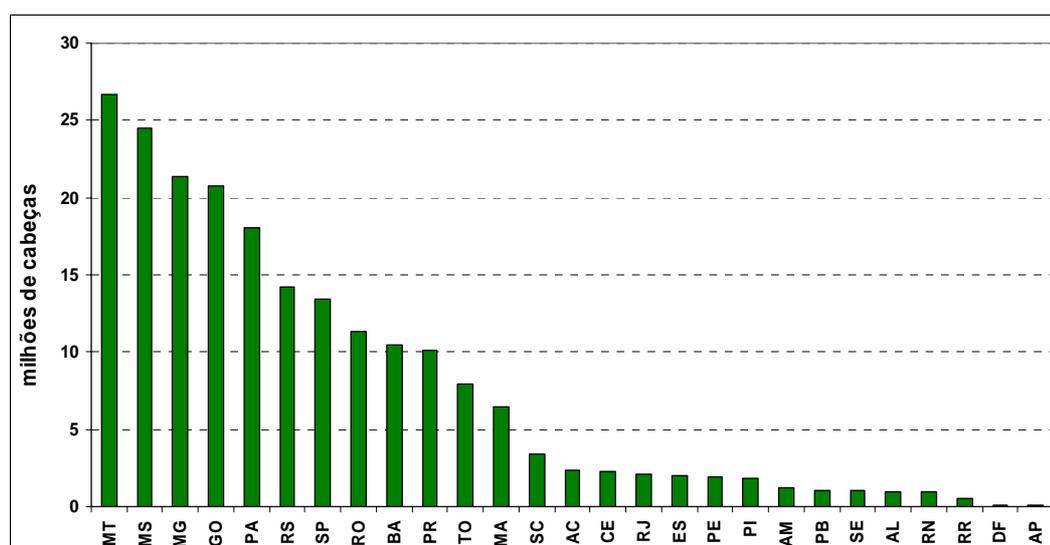


Figura 5 - Rebanho bovino brasileiro por Estado, ano de 2005 (milhões de cabeças)

Fonte: IBGE (2007)

A taxa de abate é estimada em torno de 15% do rebanho para 2006, o que representa cerca de 30,37 milhões de cabeças, com base nos dados do IBGE (2007).

O principal destino para a carne produzida no Brasil é o mercado doméstico, com um consumo estimado em 6,9 milhões de toneladas em 2006, ou 77% da produção. As exportações, por sua vez, correspondem a 23,4% da produção brasileira (Tabela 3).

O consumo per capita esteve entre 36 e 37 kg nos últimos anos, volume bastante elevado quando comparado à média mundial de consumo de carne bovina (8 kg/habitante).

O crescimento anual médio do consumo foi de aproximadamente 2% nos últimos quatro anos, acompanhando em grande parte a taxa de crescimento populacional, percentual um pouco superior à média de crescimento mundial do consumo (1,8% a.a.).

Tabela 3 - Oferta e demanda de carne bovina no Brasil

	2003	2004	2005	2006
Rebanho (milhões de cabeças)	195,55	204,51	207,16	204,7*
Abate (milhões de cabeças)	21,64	25,94	28,03	30,37
Taxa de abate (%)	11%	13%	14%	15%
Produção de carne (milhões de toneladas equivalente carcaça)	7,39	7,98	8,59	9,02
Importação (milhões de toneladas equivalente carcaça)	0,06	0,05	0,05	0,03
Consumo (milhões de toneladas equivalente carcaça)	6,27	6,40	6,77	6,94
Consumo per capita (kg/habitante/ano)	35,48	35,26	36,78	37,15
Exportação (milhões de toneladas equivalente carcaça)	1,18	1,63	1,87	2,11

Fonte: IBGE (2007), USDA (2007) e Confederação Nacional da Agricultura - CNA (2006)

\* Estimativa CNA

O crescimento consistente das exportações nos últimos anos permitiu maior sustentação aos preços domésticos do boi, com as cotações dos animais passando a oscilar, em grande parte, em função da sazonalidade (períodos de safra/entressafra das pastagens) (SILVA et al., 2005).

Assim, os preços do boi gordo tendem a aumentar no segundo semestre do ano, conforme se verifica na Figura 6, que corresponde à época de entressafra da atividade na região Centro-Sul do país.

Para o ano de 2005, verifica-se claramente o efeito do surto de febre aftosa detectado no mês de outubro, no Estado do Mato Grosso do Sul, sobre os preços do boi gordo do Estado de São Paulo, segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2006) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ. Os preços sofreram um recuo imediatamente após o surto, se recuperando no mês seguinte, o que será melhor explorado adiante (Figura 6).

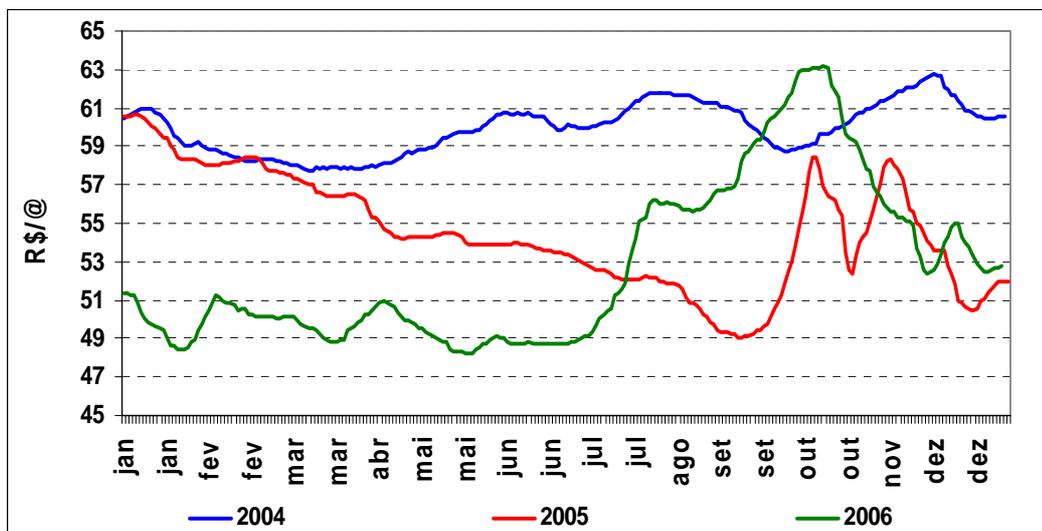


Figura 6 - Sazonalidade dos preços do boi gordo no Estado de São Paulo, 2004 a 2006, em R\$/@  
 Fonte: CEPEA (2007)

A Figura 7 apresenta a evolução mensal das exportações brasileiras de carne bovina, bem como os preços médios recebidos. Verifica-se uma tendência crescente para ambos, bem como uma sazonalidade mais acentuada das exportações ao longo dos últimos anos. Assim, as exportações tendem a apresentar crescimento no primeiro semestre, correspondente ao período de safra, e decrescer no segundo semestre do ano (período de entressafra).

Verifica-se também claramente o efeito do surto de febre aftosa de outubro de 2005 sobre as exportações, acentuando a tendência de queda dos embarques no segundo semestre do ano.

Para os preços médios de exportação torna-se mais difícil identificar uma sazonalidade, porém a sua tendência de crescimento ao longo do tempo está relacionada tanto à melhora dos aspectos de qualidade da carne brasileira, quanto ao aumento dos preços da carne no mercado internacional.

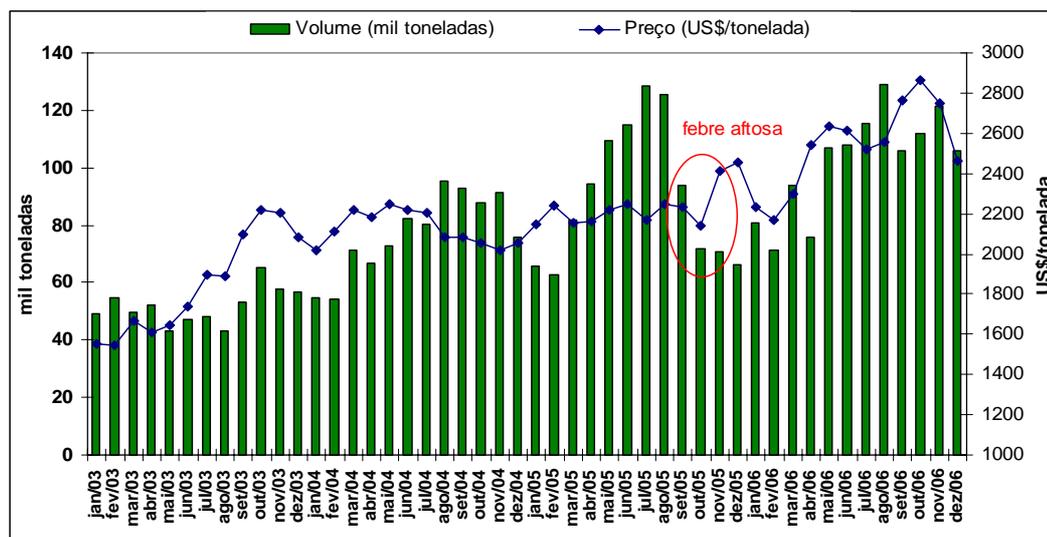


Figura 7 - Exportações mensais brasileiras de carne bovina (mil toneladas) e preços médios de exportação (US\$/tonelada), janeiro/02 a dezembro/06

Fonte: Brasil (2007)

Para atender às novas exigências de mercado, de produtos sadios e seguros, e manter-se competitivo no mercado mundial de carne bovina, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento do Brasil instituiu em 2002 o Serviço de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos - SISBOV.

O sistema tem como objetivo o controle e a rastreabilidade do processo produtivo no âmbito das propriedades rurais, incluindo a identificação individual dos animais, controle de movimentação dos mesmos, registro dos insumos utilizados, dentre outros procedimentos. A adesão, apesar de voluntária para os produtores rurais brasileiros, será obrigatória no caso de comercialização de carne bovina e bubalina para mercados que exijam a rastreabilidade, o que tende a crescer nos próximos anos.

### 3.2 Revisão de análises enfocando os efeitos econômicos de surtos de doença e aplicações da Teoria dos Jogos

São analisados, inicialmente, trabalhos que tratam de analisar os efeitos econômicos de doenças em animais, nas diferentes formas de abordagem e mensuração. Em seguida,

apresentam-se trabalhos que abordam a questão da prevenção e controle de doenças em humanos e animais.

Uma última abordagem trata de analisar os trabalhos que utilizam a Teoria dos Jogos e a teoria da decisão aplicada à questão de doenças.

### **3.2.1 Análises voltadas aos impactos econômicos de surtos de doença em animais**

Paarlberg et al. (2005) analisaram diversos trabalhos que estimaram os impactos econômicos de um surto de doença em animais, focando os diferentes modelos utilizados e suas implicações para os resultados encontrados. Dentre os trabalhos identificados pelos autores, tem-se uma estimativa apresentada por Paarlberg et al. (2002) quanto aos impactos de um surto de febre aftosa nos Estados Unidos na renda agrícola, similar ao que ocorreu na Grã-Bretanha em 2001. As estimativas foram feitas empregando um modelo para o setor agrícola americano que considera quatro níveis de mercado (bens finais, intermediários, produção de ração e produção de grãos para a ração) e relaciona esses níveis verticalmente. O modelo é baseado nas condições de complementaridade de um problema de programação matemática, utilizado comumente em comércio internacional para descrever o comportamento de uma economia. O problema primário é maximizar a produção nacional de bovinos, sujeito à restrição de recursos econômicos, enquanto o problema dual é minimizar o custo de gerar um dado nível de produção.

Para avaliar o impacto da ocorrência de um surto de febre aftosa, Paarlberg et al. (2002) consideraram três sub-choques potenciais: (i) retirada de animais do mercado através de uma estratégia de erradicação, o que também reduz a demanda por ração; (ii) proibição das exportações de animais e derivados de bovinos, suínos, ovinos e de produtos lácteos; (iii) potencial reação adversa do consumidor, reduzindo o consumo de carne bovina, suína e ovina, e aumento do consumo da carne de aves.

Os autores concluem que conscientizar o consumidor de que consumir a carne de um animal infectado não traz consequências para a saúde humana pode reduzir os custos decorrentes de um surto, bem como convencer os importadores da carne americana de aceitar o princípio da regionalização. Os autores atentam também para o fato de que as magnitudes e os tipos de choque considerados influenciam os resultados de maneira expressiva.

Mangen et al., 2004 apud Rich (2004) também utilizaram um modelo integrado verticalmente para a indústria de suínos na Holanda, para analisar os efeitos da Febre Suína Clássica (Classical Swine Fever) naquele país.

Paarlberg et al. (2005) também citam o trabalho de Paarlberg et al. (2003), em que os autores estimam as mudanças nas medidas de bem-estar (excedente do produtor e consumidor) como consequência de um surto de febre aftosa, complementando o trabalho de Paarlberg et al. (2002). Os produtores são divididos entre aqueles cujos animais não podem ser comercializados devido ao surto e aqueles cujos animais são comercializáveis porque não tiveram seus animais atingidos. Os primeiros não conseguem ajustar seus custos e sua produção com a ocorrência do surto. Já os segundos podem flexibilizar seus custos e sua produção. Os consumidores são divididos entre aqueles sujeitos a uma mudança estrutural nas suas preferências e aqueles que mantêm suas preferências inalteradas depois da ocorrência de um surto, por saberem que não existe problema no consumo da carne de um animal infectado. Para a análise, os autores construíram um modelo de equilíbrio parcial do mercado americano de carne bovina, utilizando funções lineares e supondo que um determinado montante de animais é retirado do mercado com o surto. Além disso, consideram que as exportações de carne bovina são banidas, permitindo duas alternativas de reação do consumidor: manter ou não o consumo de carne bovina.

Comparando-se os dois trabalhos (PAARLBERG et al., 2002; PAARLBERG et al., 2003), nota-se que utilizando a mudança na receita do produtor, como realizado no primeiro estudo, superestima-se a mudança do bem-estar do produtor. Da mesma forma, os resultados encontrados para o consumidor nos dois estudos são bastante diferentes.

Paarlberg e Lee (1998 apud PAARLBERG et al., 2005) construíram um modelo de equilíbrio parcial para o mercado de carne bovina, considerando que os Estados Unidos importam carne de duas origens potenciais, uma livre de febre aftosa e outra com risco potencial de sofrer um surto da doença. A função de oferta de carne bovina dos EUA inclui uma variável que representa o número de surtos de febre aftosa no país, o qual é diretamente relacionado ao volume importado de carne do país que apresenta risco da doença. Então é considerado que os EUA estabelecem uma tarifa discriminatória em duas partes, onde a segunda parte da tarifa é uma barreira adicional que incorpora o risco de febre aftosa do país exportador. O total de barreiras enfrentadas por cada exportador (em termos de tarifa) é determinado através da maximização do

bem estar social americano, medido como excedente do produtor e do consumidor mais a receita das tarifas.

Em outro trabalho de Paarlberg e Lee (2001 apud PAARLBERG et al., 2005), os autores expandem a metodologia acima, incluindo múltiplas categorias de risco para os países exportadores, e múltiplas estratégias de controle da doença para o país (uma considerando que a doença é endêmica, outra que uma estratégia de erradicação é conduzida, e outra em que é adotada uma política de vacinação). Essas múltiplas categorias alteram a forma como um surto de febre aftosa pode afetar a oferta de carne americana. Uma variável indicando a severidade de um surto substitui a variável incluída no trabalho anterior que representa o número de surtos como deslocador da oferta.

A mesma metodologia do estudo de Paarlberg e Lee (2001) é aplicada por Petry et al. (1999 apud PAARLBERG et al., 2005), para analisar o comércio de suínos vivos entre os EUA e o México. O rebanho americano é infectado pela doença conhecida como Síndrome Respiratória e Reprodutiva Suína - PRRS, enquanto o México declara-se livre da doença, o que faz com que este país estabeleça barreiras restritivas contra as importações do animal vindo dos EUA.

Rich (2004) identificou o trabalho de Amosson et al. (1979), que também utiliza equilíbrio parcial para avaliar os benefícios do controle da brucelose. O autor também cita Berentsen et al. (1992), que utilizou um modelo de equilíbrio parcial em um único setor para derivar os impactos no bem-estar de estratégias de controle alternativas para a febre aftosa na Holanda.

Diversos trabalhos que utilizaram modelos de Equilíbrio Geral para quantificar os impactos de surtos de doenças em rebanhos sobre a economia também foram identificados na literatura. Um deles é o conduzido por McDonald et al. (2003), os quais analisaram o impacto econômico do surto de febre aftosa ocorrido na Escócia em 2001, através de um modelo Computável de Equilíbrio Geral - CGE, baseado em uma Matriz de Contabilidade Social - SAM calibrada com os dados de 1998. O fechamento escolhido para o modelo foi de curto-prazo, dada a natureza de um surto de febre aftosa. O objetivo dos autores foi avaliar a forma como a doença afeta os preços, retorno dos fatores, consumo, comércio e a renda e gasto do governo. Os resultados também permitiram inferir sobre as consequências das políticas adotadas para controle da doença.

Esses autores aplicaram três tipos de choques no modelo: os que afetam diretamente a agricultura (banimento das exportações, restrições ao trânsito de animais, eliminação dos animais doentes, redução da produtividade da agricultura); os que afetam o turismo (queda na demanda por bens e serviços dos turistas); e os relacionados à política do governo de controle da doença (custo de detecção, sacrifício dos animais, desinfecção dos locais, custos administrativos, etc.) e compensação aos pecuaristas pelo problema da aftosa. Como resultado, os autores determinaram que os efeitos do surto de febre aftosa sobre as variáveis macroeconômicas da Escócia foram desprezíveis. Tanto as compensações pagas aos pecuaristas pela perda dos animais quanto a flexibilização dos gastos da população (reduzem gasto com turismo mas aumentam gastos com outros tipos de bens e produtos) compensam os efeitos negativos causados sobre o PIB. No entanto, assumindo um comportamento menos flexível dos produtores e consumidores (ou seja, tecnologia do tipo Leontief e não flexibilidade de gastos da população) o impacto sobre o PIB é de 0,8% negativo.

Dent (2002) estima as implicações econômicas de um surto de febre aftosa na Austrália, com referência especial ao estado de Queensland. O autor estende o estudo realizado em 2001 pelo Australian Bureau and Agricultural and Resource Economics - ABARE, através de um modelo dinâmico Multi-Regional de Previsão Monash - MMRF, para determinar os possíveis efeitos de um surto de febre aftosa sobre o rebanho e sobre as indústrias de carnes processadas, bem como sobre as economias estaduais e a nacional. Como o modelo utilizado é dinâmico, ele é capaz de produzir sequências de soluções anuais conectadas por relações dinâmicas. Assume-se que um surto de febre aftosa afeta a economia de duas maneiras: (i) reduzindo a demanda externa por animais e seus produtos originados de países onde ocorre o surto, no caso, na Austrália; (ii) redirecionando os gastos do governo para as medidas de controle e erradicação, bem como para o suporte de renda ao produtor que foi afetado de maneira adversa. São considerados no trabalho quatro cenários alternativos: (i) fechamento de longo-prazo (6 anos) dos mercados importadores para animais vivos e derivados de todo o país; (ii) fechamento de longo-prazo (6 anos) dos mercados importadores, para animais vivos e derivados do estado de Queensland, e de 2 anos para outros estados não afetados; (iii) fechamento de curto-prazo (2 anos) dos mercados importadores, para animais vivos e derivados do estado de Queensland, e de 1 ano para outros estados não afetados; (iv) fechamento de curto-prazo (2 anos) dos mercados importadores, para animais vivos e derivados do estado de Victoria, e de 2 anos para outros estados não afetados.

Uma evidência constatada no trabalho de McDonald et al. (2003) é de que os pecuaristas que foram diretamente afetados pela febre aftosa, tendo seu rebanho contraído a doença, geralmente foram mais bem sucedidos, por causa da compensação recebida, do que aqueles que não tiveram seu gado afetado. Esse fato, porém, não pôde ser constatado no modelo, sendo uma das limitações da metodologia adotada. Essas diferenças não puderam ser apuradas porque o modelo considera todos os pecuaristas como um único produtor.

Segundo McDonald et al. (2003), se os efeitos do surto de febre aftosa estiverem confinados ao setor agrícola e à cadeia de alimentos, então o uso de um modelo de equilíbrio parcial ou um modelo multi-mercados seria mais apropriado que o modelo CGE. Outra limitação do modelo é que ele não considera outros tipos de custo que não de mercado, como o ambiental, de bem-estar animal e sociais.

Outros autores utilizam modelos de insumo-produto (ou matrizes de contabilidade social) para derivar multiplicadores setoriais, os quais mensuram o impacto na economia como um todo de um choque de demanda no setor de criação de animais causado por um surto de doença (GARNER; LACK, 1995; CASKIE et al., 1999; EKBOIR, 1999; MAHUL; DURAND, 2000, apud RICH, 2004). Um modelo epidemiológico é normalmente utilizado para calibrar o tamanho do choque, o qual é usado com os multiplicadores para computar o impacto total de várias estratégias para doenças. Esses modelos, no entanto, possuem duas desvantagens: é um modelo fundamentalmente conduzido pelo lado da demanda, assumindo que a oferta é perfeitamente elástica, o que não é uma suposição plausível para o caso de surtos de doença, em que os choques ocorrem na oferta também; a segunda desvantagem é que o modelo pode falhar em estimar o impacto líquido da doença, dado que os surtos podem gerar emprego e renda em outros setores, dependendo da estratégia de controle adotada.

Rich (2004) utilizou um modelo Epidemiológico-econômico Integrado de Controle de Doença em animais - DISCOSEM, considerando ambos os aspectos espacial e dinâmico de um surto, para analisar as políticas alternativas de controle da febre aftosa no Cone Sul. A vantagem desse modelo sobre os utilizados por outros autores é justamente considerar em conjunto os componentes espacial - permite analisar efeitos regionais -, e dinâmico, que permite analisar os efeitos no longo prazo. O modelo utilizado é de equilíbrio parcial, e multi-mercado. Segundo o autor, a desvantagem de utilizar equilíbrio parcial é que os setores não-agrícola, de capital, de trabalho, e de comércio exterior não são modelados explicitamente, e portanto os efeitos gerados

pelo modelo excluem muitas ligações econômicas entre eles, e devem ser considerados uma aproximação do real. Por outro lado, a vantagem do equilíbrio parcial, em relação às análises multisetoriais (insumo-produto e equilíbrio geral), é a flexibilidade em modelar fenômenos no setor agrícola, visto que a disponibilidade de dados desagregados sobre os outros setores não é uniforme em todos os países considerados. Ademais, para esse problema específico, os efeitos gerados sobre os outros setores são modestos e temporários, segundo o autor.

Poucos dos estudos que utilizaram Modelos Computáveis de Equilíbrio Geral para modelar casos de doenças animais, como Perry et al. (2003 apud RICH, 2004), o utilizaram em conjunto com modelos epidemiológicos. Enquanto os modelos de equilíbrio geral têm o mérito na sua habilidade de modelar fenômenos econômicos amplos, um choque como o de um surto de doenças requer uma matriz de contabilidade agrícola detalhada para conduzir uma análise apropriada.

Randolph et al. (2005) utilizaram uma análise de benefício-custo para estudar os impactos econômicos de investimentos no controle de febre aftosa no Zimbábue (controles mais rigorosos ou não). Os autores também integraram um modelo estocástico epidemiológico à análise de benefício-custo, o que permite simular futuros surtos da doença. Para determinar os efeitos econômicos, foi utilizado um modelo computável de equilíbrio geral, simulando diversos cenários quanto ao grau de restrição imposto pelos países importadores à um surto de febre aftosa no país, e de acordo com os diversos níveis de controle aplicados contra a doença.

Outros trabalhos identificados na literatura trataram de medir os impactos de um surto de febre aftosa sobre outros setores da economia, que não o agrícola. Poe (2002 apud PAARLBERG et al., 2005) estimou que de um custo total entre US\$ 12 e US\$ 13 bilhões decorrente do surto de febre aftosa ocorrido na Grã-Bretanha em 2001, cerca de US\$ 8 bilhões foram incorridos pelo setor de turismo, um valor mais que duas vezes maior do que o incorrido pelo setor agrícola.

### **3.2.2 Análises voltadas à prevenção contra doenças em humanos e animais**

Keeling et al. (2003) afirmam que a prática da vacinação tem-se mostrado uma importante maneira de defesa contra doenças em humanos e animais. No entanto, os autores consideram que o seu potencial para controlar epidemias maiores, como a da febre aftosa, é contraditória. Os autores utilizaram um modelo espacial estocástico de unidade de produção agrícola para analisar

o potencial impacto, tanto de uma vacinação preventiva como de uma vacinação reativa (somada à ação de isolamento dos animais e locais infectados), na evolução das epidemias de febre aftosa, em termos do tamanho e duração esperados para os surtos. A simulação conduzida por Keeling et al. (2003) é baseada no surto ocorrido na Grã-Bretanha em 2001. Os resultados mostram que a estratégia ótima quanto à vacinação depende da disseminação inicial da epidemia. Uma vacinação em massa poderia reduzir bastante o potencial de grandes epidemias, bem como a duração das mesmas. Da mesma forma, estendendo-se a vacinação para outras espécies de animais (suínos e ovinos), reduz-se o número de surtos de febre aftosa. Focalizar a vacinação nas fazendas com maior risco de contaminação pela doença também reduz o número dos surtos. Se apenas um surto da doença ocorre, isso permite que seja efetiva a vacinação limitada à região afetada e zonas circunvizinhas.

Os diferentes modelos estudados por Keeling et al. (2003) indicam que, ainda que a vacinação reativa do rebanho durante um surto da doença seja realizada, diversos problemas biológicos (tempo para que o animal esteja protegido de maneira efetiva após ter sido vacinado) e logísticos (número de animais vacinados por dia) reduzem sua efetividade. Os fatores determinantes mais importantes para a efetividade da vacinação preventiva são a proporção dos animais vacinados e a eficácia da vacina (proporção dos animais vacinados que estão protegidos). A eficácia (tipicamente não mais que 90-95%) pode ser confundida com variações do antígeno entre tipos do vírus da febre aftosa, o que exige uma avaliação prévia de quais tipos apresentam o maior perigo. Assim, a vacinação reativa evita o problema da incerteza quanto ao tipo de vírus que deve ser prevenido, porém tem a desvantagem relativa ao atraso na proteção efetiva dos animais (de cerca de 4 dias para vacinas com elevado potencial a até 10 dias para formulações padrões).

Keeling et al. (2003) atentam, no entanto, para o fato da heterogeneidade entre as unidades produtivas e suas implicações<sup>2</sup>. Uma conclusão decorrente dessa constatação é que se uma população heterogênea é assumida por simplificação, como homogênea, então a proporção necessária de vacinação do rebanho para erradicar a infecção será subestimada se vacinada de maneira aleatória. De maneira contrária, se a vacinação é realizada de maneira ótima, a

---

<sup>2</sup> A análise a ser conduzida no presente trabalho considera, a princípio, que os produtores são homogêneos, com estruturas produtivas semelhantes.

heterogeneidade pode levar à redução da proporção necessária de vacinação para que a doença seja erradicada.

A literatura também indica que rebanhos maiores são mais susceptíveis à febre aftosa e também sujeitos a maior transmissão de doença do que rebanhos pequenos.

Alguns trabalhos identificados por Rich (2004) (MILLER et al., 1996; HORST, 1998; NIELEN et al., 1999; PERRY et al., 1999; DISNEY et al., 2001; BATES, 2002; RANDOLPH et al., 2002) utilizaram análise de benefício-custo, em conjunto com modelos epidemiológicos, para avaliar as estratégias alternativas de controle de doenças. Segundo o autor, esses modelos são particularmente úteis no nível do produtor e têm a vantagem de ser transparentes e fáceis de usar. No entanto, eles não conseguem captar os efeitos de preço ou bem-estar, relação entre setores, e nem processos de ajustamentos que podem ocorrer como resultado de um surto.

Shoenbaum e Disney (2003 apud RICH, 2004), usaram o modelo U.S. Mathematical Programming Regional Agriculture Sector Model – USMP, originalmente desenvolvido pelo USDA-ERS para computar os efeitos no bem-estar em cenários de controle alternativos para a febre aftosa nos Estados Unidos.

### **3.2.3 Análise de decisões estratégicas e Teoria dos Jogos aplicados à questão de doenças**

Chymis et al. (2004) analisam o problema da assimetria de informação entre compradores e vendedores de gado em leilões, usando os preceitos da Teoria dos Jogos. No modelo proposto por esses autores, os compradores não têm conhecimento e não podem verificar se os vendedores vacinaram, de fato, seu gado, forçando-os a considerar a revacinação como forma de garantia de prevenção de doenças. Dado que o gado vacinado é vendido pelo mesmo preço do gado não vacinado, os vendedores não têm incentivos para vacinar o animal. O preço do leilão pode ser considerado uma espécie de proxy para a sua análise, pois incorpora essa incerteza.

Uma análise ampla é delineada para explicar a persistência desse problema, que é causado pela assimetria de informação, ante a existência de soluções institucionais potenciais no trabalho de Chymis et al. (2004). Os autores consideram que vacinar ou não vacinar o gado são as estratégias possíveis a serem tomadas pelos agentes compradores e vendedores. As variáveis utilizadas na definição do modelo e análise das possíveis decisões quanto à vacinação incluem:

valor esperado de um animal sadio; custo de vacinação de um animal, custo de tratamento de um animal doente; a probabilidade de um animal ficar doente, mesmo quando vacinado; a probabilidade de um animal ficar doente, se não vacinado; a probabilidade de um animal morrer, mesmo que tenha sido vacinado, e a probabilidade de um animal morrer se não tiver sido vacinado.

Barret (2003a) considera que a única forma de erradicar uma doença de maneira global é eliminá-la em todos os países. A erradicação de doenças, sendo um bem público global, apresenta problemas de incentivo e de arranjo institucional. Assim, utilizando um modelo que mescla epidemiologia, economia e Teoria dos Jogos, com decisões do tipo vacinar ou não, o autor mostra que a coordenação entre os países não é suficiente para erradicar uma doença, mesmo quando os benefícios globais da erradicação excedem os custos. O autor conclui que, de maneira geral, a erradicação de doenças requer a existência de instituições internacionais fortes.

Para Barret (2003a), a forma de erradicar uma doença é através da vacinação. No entanto, conforme aumenta o número de indivíduos imunizados, aqueles não imunizados também ficam mais protegidos contra a doença. A vacinação confere uma imunização em massa, o que é uma externalidade positiva. O autor considera que esse é um dos motivos pelo qual uma doença é erradicada de um determinado território, sem que toda a população seja imunizada. Esse é também considerado o motivo pelo qual os indivíduos tendem a não se vacinar, uma vez que seria irracional da parte deles se vacinarem quando podem se proteger através da imunização da coletividade. Assim, os benefícios sociais da vacinação divergem dos benefícios privados, e o equilíbrio é a situação em que nenhum indivíduo iria se vacinar. O autor estende essa análise teórica para o caso global, de decisões estratégicas entre países sobre a erradicação de doenças.

Bauch e Earn (2004) também propõem uma análise teórica de jogos para prever o comportamento dos indivíduos quanto à vacinação. Os resultados mostram que, considerando uma política voluntária de vacinação, se uma proporção suficiente da população já foi imunizada, então a percepção de risco de consequências adversas associado à vacinação deverá exceder o risco relacionado à infecção pela doença. Como resultado, o interesse próprio dos indivíduos deverá impedir a erradicação de uma doença que poderia ser prevenida através da vacinação (como sarampo e coqueluche), e que tem um elevado grau de transmissão. Quando ocorrem casos de pessoas que tiveram problemas de reação à vacina, a percepção do risco da imunização em

relação ao risco de contrair a doença também aumenta, e conseqüentemente reduz o número de pessoas vacinadas. Os autores mostram que a redução da vacinação, nos períodos em que se registram casos de problemas relacionados a ela, se faz num ritmo mais acelerado do que a conseqüente recuperação do número de pessoas vacinadas depois de um determinado tempo.

No estudo de Bauch et al. (2003), os autores também utilizam a Teoria dos Jogos e um modelo epidemiológico para formalizar o conflito que existe entre o interesse pessoal e o interesse grupal em relação à vacinação contra a varíola. Para determinar a sensibilidade dos parâmetros estimados para o modelo, os autores conduziram uma análise de sensibilidade de Monte Carlo para valores aleatórios das variáveis, dentro de um intervalo pré-determinado. Os resultados mostram ser pouco provável que a vacinação voluntária atinja o nível ótimo desejável para a população. O parâmetro estimado para a proporção da população vacinada é sempre menor para o caso do equilíbrio individual do que para o equilíbrio considerado ótimo para a população. O argumento que reforça esse resultado é que um indivíduo tem pouco a ganhar ao se vacinar, se todos os outros indivíduos já estiverem imunes, o que dificulta alcançar os níveis desejados de cobertura da vacinação quando esta for voluntária. Outros fatores também podem contribuir para este resultado, tais como: a percepção, por parte dos indivíduos, de um risco relativamente elevado advindo da vacinação, principalmente depois que a mídia divulga alguma notícia a respeito dos riscos potenciais decorrentes das vacinas; o sucesso de programas de vacinação; algumas doenças são raramente observadas, o que reduz a percepção de risco de contrair a doença por parte dos indivíduos. Nessa situação, o comportamento cooperativo não é estável, ou seja, os indivíduos têm incentivos para se desviar do equilíbrio cooperativo.

Segundo Fox-Rushby e Clark (2003), decidir se o investimento em vacinação é uma escolha eficiente requer o conhecimento tanto dos custos, como das conseqüências de sua realização. Esses custos variam dentro e entre os países, quando considerados em diferentes períodos de tempo, e de acordo com o nível de produção. De acordo com os trabalhos analisados pelos autores, conhecendo essas diferenças nos custos de vacinação pode-se estimar o impacto da adoção de políticas globais a nível nacional, e de políticas nacionais a nível territorial, bem como determinar se a razão de efetividade do custo é confiável.

A estimação de funções de produção e de custo de serviços de imunização gera conhecimento para a tomada de decisão quanto a expandir ou não os programas de vacinação.

Segundo Brenzel (2003 apud FOX-RUSHBY; CLARK 2003), as evidências mostram um retorno crescente de escala para a provisão de serviços de imunização. O autor também considera incorreto assumir que o impacto de uma doença é proporcional ao número de indivíduos vacinados.

Ao estabelecer um horizonte de tempo para o investimento em vacinação, Fox-Rushby e Clark (2003) afirmam que quanto mais longo esse período, maior é a probabilidade da vacinação ser considerada um investimento com retorno econômico, ao contrário de apenas ser considerada uma prática poupadora de anos de vida.

Uma análise teórica de jogos é apresentada por Barret (2003 apud RUSHBY; CLARK, 2003), para destacar o conflito enfrentado por agências nacionais e internacionais ao decidir sobre a adoção de estratégias de erradicação de doenças. O autor conclui que, a partir de uma perspectiva econômica, a erradicação de doenças tem mais vantagens que as políticas de controle das mesmas, considerando que nesta última a doença pode ocorrer com determinada frequência. Segundo estes autores, a direção de futuras análises dessa natureza tende a ser a teoria da barganha, bem como análises empíricas acerca do controle versus erradicação de doenças considerando a incerteza da erradicação.

Marsh et al (2005) analisaram o caso de algumas doenças animais específicas, e dentre elas a febre aftosa, com o objetivo de verificar a efetividade das proibições de comércio por parte dos países importadores como um mecanismo de controle dos surtos, utilizando-se de um modelo não-cooperativo de Teoria dos Jogos. Os autores concluem que o banimento das importações de carne nos casos de surto de doenças em animais será efetivo para o controle da doença se não existir mercado negro de comércio de animais ou trânsito constante de animais na fronteira entre países, se existir monitoramento das fronteiras, e regionalização das áreas de surto da doença. Os autores também atentam para o fato de que, como as doenças animais são consideradas externalidades, nem a regulamentação e o controle rígido por parte do governo de maneira isolada, bem como somente a adoção de programas voluntários de prevenção para os produtores levam necessariamente a uma solução efetiva e menos dispendiosa. É sugerido, então, que se permita um tradeoff entre as políticas públicas centrais e os incentivos privados.

Hennessy (2005) analisa os incentivos privados de proteção contra a introdução e disseminação de doenças infecciosas em animais e plantas, através de um modelo que enfatiza a

relação espacial das doenças, a tecnologia de prevenção e as externalidades através dos payoffs dos agentes para ações de biosegurança numa região susceptível. Dois modelos são desenvolvidos e analisados para a determinação do equilíbrio de Nash: um que considera a disseminação de uma doença que já entrou numa região, e outro que considera as ações de proteção contra a entrada da doença.

Outra abordagem utilizando a Teoria dos Jogos, porém não aplicada ao caso de doenças, é apresentada por Mattoo (1996). O autor utiliza esse instrumental para mostrar que a exigência de padrões não discriminatória entre países, voluntária ou não, tais como padrões ambientais ou relacionadas a força de trabalho, pode ser tornar discriminatória, em favor do país que a instituiu. A exigência é modelada como um aumento no custo de produção das empresas doméstica e estrangeira, e o jogo é estruturado em 3 estágios: no primeiro o governo estabelece um nível para o padrão, no segundo estágio ambas as firmas decidem se atendem ou não ao padrão, e no terceiro estágio as firmas decidem quanto produzir. Essa estrutura de jogo será utilizada no presente estudo, uma vez que o problema aqui abordado pode ser modelado de maneira semelhante.

Rich et al. (2005) desenvolveram um modelo espacial de jogo em que dois produtores vizinhos (podendo ser duas unidades produtoras ou dois países) de gado bovino decidem entre adotar níveis de esforço elevados ou baixos para o controle da febre aftosa. O jogo é aplicado aos países do Cone Sul como forma de ilustração. A adoção de níveis baixos implica na certeza da infecção pela doença.

O trabalho demonstra como o comportamento de controle contra a doença é afetado pela disseminação espacial do vírus em diferentes intensidades e pela heterogeneidade de incentivos de controle da doença. Dado que o vírus da FA se dissemina com facilidade, a efetividade das atividades de controle em um país, ou em uma unidade produtora, é influenciada pelos esforços de controle realizados nos países ou fazendas próximos, dado que influenciam seu payoff. O comércio, condições geográficas, e fatores políticos podem fazer com que alguns indivíduos sejam mais susceptíveis às ações de seus vizinhos que outros, e esse fator também é considerado na modelagem de possibilidades do jogo. Os resultados mostram porque os esforços governamentais para o controle da febre aftosa na América do Sul têm encontrado dificuldades. Um dos motivos é que existem países onde o mercado de gado não é importante e bem

desenvolvido e, portanto, as ações de controle da doença não são adotadas de maneira efetiva, o que transforma esses países em áreas endêmicas da doença e disseminadoras do vírus. Países próximos a esses, portanto, têm um risco maior de sofrerem surtos de febre aftosa, e necessitam de uma política de prevenção mais intensa.

É importante salientar que nenhum desses estudos baseados a Teoria dos Jogos utiliza dados empíricos, ainda que selecionados de forma aleatória, para simular os resultados de diferentes modelos e estratégias aplicadas a um problema específico, que é um dos objetivos do presente trabalho.

A opção em utilizar a Teoria dos Jogos como metodologia de análise no presente trabalho decorre do fato de que esta é bastante adequada para modelar o comportamento interdependente dos agentes em um determinado mercado - conforme discutido adiante -, como é o caso da decisão quanto à prevenção contra doenças em animais. Nesse caso, a decisão quanto à adoção de medidas preventivas é tomada de maneira individual, mas a decisão de um produtor gera implicações para todos os produtores, bem como para a sociedade como um todo.

Os modelos de Equilíbrio Geral, Equilíbrio Parcial e Benefício-Custo são úteis para quantificar os efeitos econômicos de doenças sobre o mercado de carnes sob uma ótica setorial, bem como podem auxiliar na estimação dos *payoffs* dos produtores em cada situação quanto à prevenção e quanto à contaminação dos animais. Porém, a Teoria dos Jogos busca uma análise sob o aspecto microeconômico, das decisões individuais, sistematizando estes *payoffs* de forma a poder compará-los. Dessa forma, a análise da decisão estratégica quanto à prevenção – considerando riscos envolvidos e a interdependência das decisões – é melhor conduzida tanto para um produtor de maneira individual, como para todos os agentes do mercado.

Optou-se pela não inclusão de modelos epidemiológicos no trabalho, como realizado por alguns autores, porque na prática o produtor não percebe o problema dessa forma. Assim, buscou-se simplificar o problema, sintetizando as pressuposições do modelo epidemiológico na probabilidade do animal contrair a doença, tendo em vista ainda que o objetivo principal do trabalho é a análise econômica dos resultados em cada cenário proposto, e não o aspecto epidemiológico da doença.

### **3.3 Febre aftosa: aspectos epidemiológicos e econômicos**

A escolha desse problema como aplicação do modelo teórico proposto no presente trabalho deve-se à importância do setor de carne bovina para a economia brasileira e à grande inserção do país no mercado internacional de carnes, bem como o expressivo efeito econômico negativo que a doença gera. Para o produtor, os custos incluem a perda dos animais em razão do sacrifício dos mesmos. Para a população local, o custo é relacionado ao desemprego gerado pela doença, dado que as propriedades locais devem ser interditadas e impedidas de continuar a produção por um determinado período. As indústrias de carne também perdem, com a falta de animais para abate e processamento e consequente redução da exportação. O governo perde na arrecadação de impostos (visto que os animais sacrificados não são comercializados no mercado) e deve ainda arcar com custos de indenização aos produtores, sacrifício dos animais e controle sanitário emergencial.

Diversos surtos da doença já ocorreram anteriormente no Brasil, aonde a enfermidade chegou a ser considerada endêmica até a década de 80.

O que chama a atenção nos casos de surto é a dificuldade em apurar as causas de maneira efetiva. Enquanto os pecuaristas alegam, por um lado, que o rebanho foi vacinado, de forma que a verdadeira causa do problema é a falta de controle sanitário e fiscalização por parte dos organismos de defesa sanitária do governo, esses últimos argumentam que o problema é a falta de vacinação, ou vacinação inadequada, dos animais por parte dos pecuaristas.

Diante disso, este subcapítulo trata de descrever alguns aspectos da febre aftosa, suas peculiaridades e implicações para o Brasil e o mundo, bem como sobre questões relativas à vacinação preventiva. O objetivo dessa descrição é identificar os fatores relevantes para que sejam considerados na definição do modelo analítico para o presente trabalho.

#### **3.3.1 Características e evolução da febre aftosa no Brasil e no mundo**

A febre aftosa é uma doença viral altamente contagiosa que ataca animais de casco fendido, principalmente: bovinos, suínos, ovinos e caprinos. A doença pode ocorrer independente da idade, sexo, raça e clima, dentre outros fatores. Porém há diferenças de susceptibilidade entre as espécies.

O vírus causador da doença, da família *Picornaviridae*, é transportado pelo ar, pela água, alimentos, e outros animais, e apresenta uma elevada capacidade de mutação<sup>3</sup>. O animal infectado elimina o vírus por todas as excreções (saliva, sêmen, leite, urina e fezes), contaminando o meio ambiente. Outro aspecto desfavorável é que existem diversos tipos do vírus da doença, e a imunidade contra um deles não protege contra os outros.

A extrema rapidez com que o vírus se propaga explica a preocupação gerada pela doença. No ano de 2001, quando surgiu um foco no Rio Grande do Sul, foi estimado que a velocidade de propagação da doença seja de 5,2 quilômetros a cada 24 horas (GAZETA MERCANTIL, 2005).

Na Austrália, Baldock (1992 apud DENT, 2002), afirma que a importação ilegal de alimentos oferece risco de introdução do vírus da febre aftosa no país. Se um único animal ingere um alimento derivado de carne contaminada, dentro de cinco dias, todo o rebanho daquela propriedade poderá estar infectado. Dependendo do número de animais infectados, das condições do vento, do trânsito dos animais e da velocidade de detecção e resposta à doença, um surto pode se espalhar entre 10 e 250 propriedades circundantes, o que demonstra o poder de disseminação da doença.

Os principais sintomas da doença são: elevação da temperatura do animal; aftas na língua, lábios, gengivas e entre os cascos; o animal baba muito, e tem dificuldade de se alimentar; devido às lesões entre os cascos, o animal tem dificuldade de se locomover; a produção de leite cai e ocorre perda de peso, além de causar infertilidade e mortalidade nos animais prematuros<sup>4</sup>).

No entanto, autores indicam que a febre aftosa não é necessariamente uma doença fatal, visto que muitos animais se recuperam dos sintomas da doença em duas semanas (McDONALD et al., 2003). Ela afeta, no entanto, a produtividade dos animais no longo-prazo, e resulta na perda de mercados importadores de animais vivos, de carnes e de produtos derivados. Por isso, a política de controle e erradicação adotada por muitos países é o sacrifício de todos os animais do rebanho afetado, incluindo tanto os doentes como os aparentemente saudáveis, mas que tiveram contato com o vírus. Em alguns casos chega-se a sacrificar até outras espécies de animais (suínos e ovinos) que estão dentro de um determinado raio do foco registrado.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.saudeanimal.com.br/aftosa.htm>>.

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://www.saudeanimal.com.br/aftosa.htm>>.

Ademais, mesmo que o animal se recupere da doença, ele é portador do vírus ativo em seu organismo, tornando-se, portanto um agente disseminador no seu próprio rebanho e dos seus vizinhos, espalhando assim a virose. Daí a preferência pelo sacrifício dos mesmos.

Os surtos de aftosa surgem repentinamente e com muita frequência; todos os animais suscetíveis do rebanho apresentam os sintomas praticamente ao mesmo tempo. A intensidade da doença é muito variável. Na forma mais leve, as perdas podem alcançar cerca de 3% do rebanho, enquanto que nas graves alcançam 30% a 50%<sup>5</sup>. Segundo Wohlenger (2001 apud LIMA et al., 2005), a febre aftosa pode chegar a atingir criações inteiras e, sob circunstâncias especiais, atingir humanos.

Os produtos derivados de animais infectados podem também estar contaminados, sendo considerados de maior ou menor grau de infecção, dependendo do grau de processamento. Assim, produtos menos processados, como carne in natura, leite não tratado e manteiga, apresentam um risco maior de contaminação (LIMA et al., 2005). Os produtos contaminados não oferecem risco de saúde aos seres humanos quando consumidos na forma de alimentos, mas podem transmitir a infecção a outros animais susceptíveis.

De maneira geral, o risco de contaminação da febre aftosa depende de fatores tais como: eficácia da vigilância e controle sanitário no país, fiscalização do transporte de animais, existência de serviço veterinário público e privado, abrangência das campanhas de vacinação, cooperação do governo e produtores na erradicação da doença (LIMA et al., 2005).

A doença foi descoberta pela primeira vez na Itália no século XVI, porém já no século seguinte foi observada em vários países da Europa, Ásia, África e América. De acordo com Saraiva e Lopez (2001 apud PANAF-TOSA, 2001), a doença foi introduzida no Continente Americano através da importação de animais da Europa, pela necessidade de melhorar a produtividade do rebanho bovino, para atender à crescente indústria de processamento de produtos de origem animal. O primeiro registro da doença nas Américas deu-se em Buenos Aires, Argentina, em torno de 1870. Desde então, a enfermidade se difundiu aos países vizinhos através das relações comerciais existentes entre eles.

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://www.saudeanimal.com.br/aftosa>>.

Desde a descoberta da doença observou-se que era absolutamente necessário separar o animal infectado do resto do rebanho. No entanto, até a metade do século XIX a febre aftosa não era considerada uma enfermidade economicamente grave e seu caráter contagioso era motivo de grande polêmica, e até mesmo negado. Acreditava-se que as condições climáticas e alimentares explicavam a doença. Os impactos econômicos das restrições comerciais e dos prejuízos provocados pela doença indicaram que a busca de uma vacina era uma questão urgente. O agente causador da febre aftosa foi identificado somente em 1897, sendo que em 1925 foram publicados os primeiros resultados positivos de vacinação a partir de um vírus purificado (WEISSHEIMER, 2006).

A proibição de movimentação de animais em caso de aftosa foi regulamentada pela primeira vez no fim do século XIX, na Inglaterra, e o abate de animais doentes começou a ser posto em prática por volta de 1860, também neste país (WEISSHEIMER, 2006).

Atualmente, essa enfermidade está presente de forma endêmica em algumas regiões da Ásia, América do Sul, África e no Oriente Médio. Surtos da doença têm ocorrido em alguns países como Grécia, Taiwan, Argentina, Brasil, Uruguai, Japão e no Reino Unido<sup>6</sup>. Nos anos de 2000 e 2001, a febre aftosa reapareceu com força em praticamente todos os continentes, obrigando o sacrifício de milhares de animais. Essa reintrodução do vírus em países e regiões reconhecidos como livres da doença, segundo Pituco, 2004 apud Lima et al. (2005) causou elevados prejuízos econômicos e sociais. Japão e Taiwan, por exemplo, eram países livres da aftosa há quase 100 anos, e sofreram com a reincidência do vírus na região. Outros países que tiveram seus rebanhos atingidos pelo surto da febre aftosa nessa época foram: Inglaterra, Bélgica, Holanda, França, Argentina, Uruguai, e região Sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e sul do Paraná, área livre de aftosa com vacinação) (LIMA et al., 2005).

Os prejuízos gerados pela doença ocorrem tanto de forma direta - pela redução da produção, necessidade de abate dos animais - como de maneira indireta através de embargos econômicos impostos pelos países importadores de carne, além dos custos públicos e privados de prevenção, controle, erradicação e indenização quando é necessário o sacrifício de animais. A

---

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.vet.uga.edu/vpp/NSEP/fmd/Port/>>.

perda de confiança do importador em relação ao produto do país que apresentou problemas de febre aftosa também implica em custos para estes países (LIMA et al., 2005).

Assim, pode-se inferir que em um país como o Brasil, a ocorrência da doença pode ter grandes implicações. O país possui o maior rebanho bovino mundial, com 207,1 milhões de cabeças, segundo dados para 2005 (IBGE, 2007), com um setor pecuário que sustenta um PIB de R\$ 67,84 bilhões (CNA, 2006). Além disso, possui o terceiro maior mercado de produção de suínos e em sexto lugar na produção de leite.

A febre aftosa foi detectada no Brasil no ano de 1895, e até a década de 1980 a doença foi considerada endêmica no país. A partir da década de 1970, com a melhora na qualidade das vacinas e do controle das áreas infectadas, e mais tarde, na década de 1980, com a implementação de programas de erradicação a nível regional, os surtos de febre aftosa no Brasil começaram a diminuir de frequência (LIMA et al., 2005).

Esses esforços foram reforçados em 1992, com a criação do Programa Nacional de Erradicação da Febre Aftosa - PNEFA, e a divisão do país em circuitos, com o objetivo de possibilitar a criação de áreas livres com fundamento na prevalência da doença no país, na localização das regiões produtoras e nos fluxos de comércio (LIMA et al., 2005). Naquele mesmo ano foi criado o Conselho Consultivo do Projeto de Controle das Doenças dos Animais, nos aspectos relacionados com a Febre Aftosa, sob a presidência do secretário Nacional de Defesa Agropecuária, com o objetivo de formular as diretrizes e normas para o desenvolvimento das ações de combate à febre aftosa, no alcance das metas constantes do referido projeto.

A Figura 8 mostra a grande queda no número de focos da febre aftosa no Brasil a partir da década de 80, e a tendência decrescente desse número desde então.

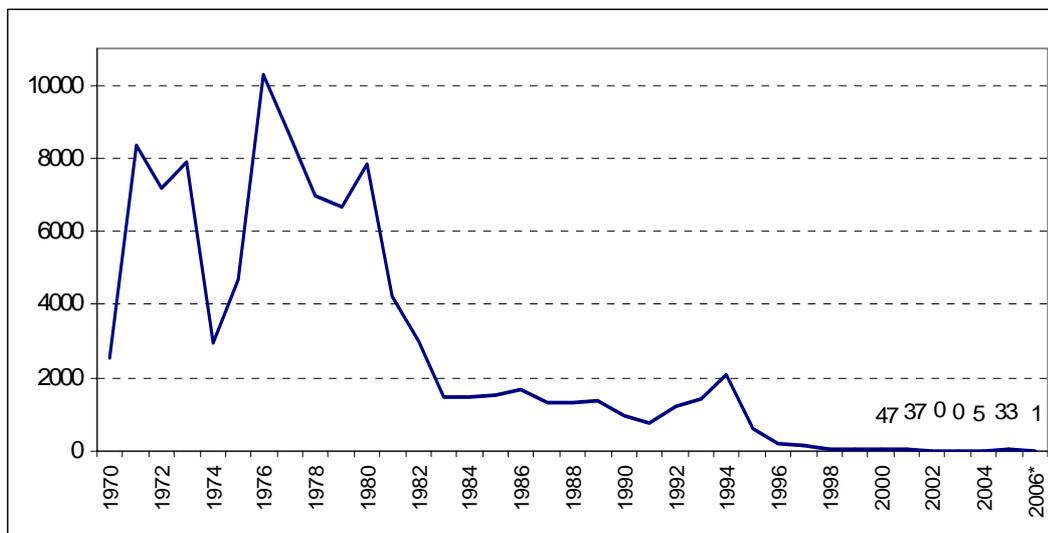


Figura 8 - Número de surtos de febre aftosa no Brasil (1970-2006\*)

Fonte: Lyra e Silva (2004), Lima et al. (2005) e Brasil (2004, 2006)

\* Considera os surtos ocorridos até Novembro/2006.

No âmbito internacional, a Organização Mundial de Saúde Animal - OIE é o organismo que mantém os dados da ocorrência da febre aftosa e a situação dos países membros dessa organização quanto à sua presença<sup>7</sup>. Na classificação das doenças animais estruturadas pela OIE, a febre aftosa pertence à chamada Lista A, ou seja, de doença transmissível com potencial de difusão muito sério e rápido, sem levar em consideração as fronteiras nacionais.

Para ser considerado livre de febre aftosa e ter o mercado internacional aberto para a produção de carne sem restrições, segundo os requisitos da OIE, o país deve provar que não tem febre aftosa e que a vacinação dos animais contra essa doença não está ocorrendo. Há uma distinção entre país livre de febre aftosa sem vacinação ou livre com vacinação, sendo que a condição de livre sem vacinação abre oportunidades muito maiores no mercado internacional, já que parece ter um apelo positivo nos mercados importadores<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Esse órgão também trabalha para promover uma maior transparência no registro de doenças animais entre os países, facilitar a transferência de informações, e melhorar as infraestruturas nacionais de controle de doenças. Suas atividades também incluem a publicação de recomendações relativas à estrutura de produção animal, manejo, ambiente, etc.

<sup>8</sup> Maiores informações disponíveis em: <<http://www.vet.uga.edu/vpp/NSEP/fmd/Port/>>.

Como é difícil distinguir entre a carne de um animal infectado e de um animal que desenvolveu uma resposta de imunização à vacina da FA, alguns países (como Japão e Coréia do Sul) permitem acesso total a seus mercados de importação apenas a países que são designados como livres da doença sem vacinação (EKBOIR et al., 2002).

Dentre outras coisas, um país ou área que pretende ser reconhecido como livre de febre aftosa sem vacinação deve comprovar que não houve casos da doença ou evidências do vírus nos últimos 12 meses<sup>9</sup>; que a vacinação contra a febre aftosa não foi praticada nos últimos 12 meses; que nenhum animal vacinado entrou na área a ser reconhecida desde a última vacinação; além de provar que existem programas de vigilância contra a febre aftosa (OIE, 2005 apud LIMA et al., 2005).

Para que um país seja reconhecido como área livre de aftosa com vacinação, os requisitos da OIE são: comprovar que não houve casos da doença nos últimos 2 anos; comprovar que não há evidências do vírus nos últimos 12 meses; mostrar que há vigilância quanto à presença da doença e do vírus; e provar que as vacinas utilizadas estão de acordo com os padrões do Código de Saúde de Animais Terrestres<sup>10</sup> (OIE, 2005 apud LIMA et al., 2005).

Nos casos de reincidência da doença em uma área livre de aftosa com vacinação, o prazo para recuperação do status exige que após 6 meses depois do último caso de aftosa, quando os animais forem sacrificados, seja aplicada vacinação de emergência e comprovada a inexistência de circulação viral. Alternativamente, considera-se que 18 meses depois do último caso quando não houver sacrifício dos animais, seja aplicada vacinação de emergência e comprovada falta de circulação viral (OIE, 2005 apud LIMA et al., 2005).

Para a recuperação do status de uma área livre de aftosa sem vacinação, é necessário observar a ausência da doença no rebanho por um período de: 3 meses após o último caso, desde que os animais sejam sacrificados e seja comprovada a inexistência de circulação viral; 3 meses

---

<sup>9</sup> A Portaria no. 121 do Ministério da Agricultura, de 29 de março de 1993, a qual aprova as Normas para o Combate à Febre Aftosa, determina no entanto que não deve haver casos clínicos da doença há pelo menos 2 anos para a área ser considerada livre da doença sem vacinação, além de estabelecer como requisito adicional ao estabelecido pela OIE que haja perfeita delimitação e separação da área do restante do país, de países vizinhos ou de regiões distintas dentro de um mesmo Estado, por uma “zona de vigilância” de pelo menos 10 km de largura, além de requerer a existência de dispositivos legais para a proteção e luta contra a doença.

<sup>10</sup> A Portaria no. 121 do Ministério da Agricultura, de 29 de março de 1993, a qual aprova as Normas para o Combate à Febre Aftosa, adiciona como requisito para uma “área livre com vacinação”, além do estabelecido pela OIE, a existência de dispositivos legais para a proteção e luta contra a doença.

depois do abate dos animais vacinados, quando houver sacrifício dos animais, vacinação de emergência e comprovação de inexistência de circulação viral; ou 6 meses depois do último caso ou da última vacinação (o que ocorrer primeiro) quando os animais forem sacrificados, seja feita vacinação de emergência não precedida pelo abate de todos os animais vacinados, e comprovação da inexistência de infecção nos animais vacinados remanescentes (OIE, 2005 apud LIMA et al., 2005).

Atualmente, segundo a OIE (2007), dentre os países da América do Sul, somente o Chile e as Guianas são livres de febre aftosa sem vacinação. Uruguai e determinadas áreas da Bolívia e da Colômbia são considerados livres com vacinação, enquanto o Peru possui áreas livres somente sem vacinação. O Brasil, a Colômbia e a Argentina possuem áreas livres com e sem vacinação.

No Brasil, em decorrência dos surtos ocorridos no Mato Grosso do Sul e Paraná em 2005, a OIE suspendeu o status de livre de aftosa com vacinação dos Estados do Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Sergipe e Distrito Federal.

A Europa também já pode ser considerada praticamente livre de Febre Aftosa, depois de diversos surtos da doença na região. No entanto, o bloco deve manter a vigilância contra possível contaminação oriunda de regiões vizinhas, sendo que o risco de infecção através de comércio ilegal ainda está presente.

Atualmente, apenas Turquia e Israel são consideradas áreas endêmicas de Febre Aftosa (NORTHOFF, 2004 apud SILVA; MIRANDA, 2005). Segundo esse mesmo autor, países em desenvolvimento geralmente apresentam maiores problemas para controlar esse tipo de doença, uma vez que seu controle exige grande investimento.

A lista completa de países livres de aftosa sem vacinação é apresentada no Quadro 1:

Albânia	El Salvador	Japão	Polônia
Austrália	Estônia	Coréia do Sul	Portugal
Áustria	Finlândia	Letônia	Romênia
Belarus	Macedônia	Lituânia	Sérvia e Montenegro
Bélgica	França	Luxemburgo	Cingapura
Bósnia – Herzegovina	Alemanha	Madagascar	Eslováquia
Bulgária	Grécia	Malta	Eslovênia
Canadá	Guatemala	Maurícius	Espanha
Chile	Guiana	México	Suécia
Costa Rica	Honduras	Holanda	Suíça
Croácia	Hungria	Nova Caledônia	Ucrânia
Cuba	Islândia	Nova Zelândia	Reino Unido
Chipre	Indonésia	Nicarágua	Estados Unidos da América
República Tcheca	Irlanda	Noruega	Vanuatu
Dinamarca	Itália	Panamá	

Quadro 1 - Países considerados livres de aftosa sem vacinação pela OIE

Fonte: OIE (2007)

No Brasil, com a redução dos focos da febre aftosa nas últimas décadas e a crescente preocupação acerca do controle sanitário da doença, o país pôde buscar o reconhecimento do OIE como área livre da doença com vacinação. O estado de Santa Catarina, uma exceção, é considerado livre da aftosa sem vacinação, o que foi reconhecido pela OIE em maio de 2007.

A evolução do reconhecimento das áreas livres pela OIE é apresentada no Quadro 2. Anteriormente ao surto de febre aftosa de 2005, o Brasil possuía 16 estados livres da febre aftosa com vacinação, representando cerca de 4,36 milhões de metros quadrados, ou 51% do território nacional, além do recente reconhecimento do Estado de Santa Catarina como livre sem vacinação.

<b>Data de reconhecimento</b>	<b>Estado</b>	<b>Data do último caso</b>
Maio 1998	SC	Dezembro/1993
	RS	2000 e 2001
Maio 2000	DF	Maio/1993
	PR	Dezembro/2005
	GO	Agosto/1995
	MT	Janeiro/1996
	SP	Março/1996
	MG	Mão/1996
Maio 2001	SE	Setembro/1995
	ES	Abril/1996
	RJ	Março/1997
	BA	Maio/1997
	MS	Outubro/2005
	TO	Maio/1997
	MG	Maio/1996
	MT	Janeiro/1996
	SP	Março/1996
	GO	Agosto/1995
Maio 2003	RO	Fevereiro/1999
Maio 2005	AC	Junho/1999
Maio 2007	SC*	Dezembro/1993

Quadro 2 - Evolução do reconhecimento de áreas livres da febre aftosa com vacinação no Brasil\*

Fonte: Brasil (2005), elaborado por Lima et al. (2005) e OIE (2007)

\* Reconhecimento do Estado como livre de aftosa sem vacinação.

A Figura 9 mostra a condição de zonificação para erradicação da febre aftosa no ano de 2005, antes da ocorrência do surto de Mato Grosso do Sul e Paraná.



Figura 9 - Condição de zonificação para erradicação da febre aftosa no Brasil em 2005

Fonte: Brasil (2004)

Além das regiões reconhecidas como livres de aftosa, existem algumas áreas chamadas de “zonas tampão”, que separam a zona livre de febre aftosa com vacinação das demais Unidades da Federação consideradas infectadas, ao norte do país. As Instruções Normativas nº 9 (de 29 de junho de 1999) e nº 6 (de 13 de julho de 2000), e as Portarias nº 618 (de 28 de dezembro de 1999), nº 582 (de 28 de dezembro de 2000), e nº 543 (de 22 de outubro de 2002), criaram áreas de zona tampão nos Estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Bahia, Tocantins, e de Rondônia.

Atualmente, somente áreas dos Estados do Tocantins, da Bahia e Rondônia são consideradas como de “zona tampão”, conforme verifica-se na Figura 9.

O Ministério da Agricultura também definiu alguns critérios técnicos para classificar os níveis de risco para a febre aftosa nas Unidades da Federação do Brasil, através da Portaria Nº 50, de 19 de maio de 1997. Os indicadores ou fatores de risco considerados para a classificação são:

- a) Fase do Programa: prevenção, erradicação ou controle;
- b) Área geográfica incluída no PNEFA;
- c) Situação sanitária das áreas vizinhas;

- d) Sistema de atenção veterinária;
- e) Sistema de vigilância sanitária;
- f) Ocorrência de casos clínicos de febre aftosa;
- g) Nível de cobertura vacinal;
- h) Ausência/presença de atividade viral;
- i) Biossegurança para manipulação viral;
- j) Proibição/Restrição do ingresso de animais;
- k) Fiscalização do ingresso de animais e produtos;
- l) Nível de participação comunitária;

Dessa forma, estabeleceram-se seis níveis de risco para as regiões do Brasil, denominados: BR-D ou risco desprezível, BR-1 ou risco mínimo, BR-2 ou baixo risco, BR-3 ou médio risco, BR-4 ou alto risco e BR-N ou risco não conhecido ou não classificado.

É fato que a evolução de novas áreas consideradas livres de aftosa é importante para que as exportações de carne bovina e suína brasileiras possam ser mantidas e até expandir. Para isso, é de extrema importância a manutenção do controle sanitário no território, a erradicação da doença em áreas ainda sujeitas a ela, bem como esforços na área de vacinação.

Em âmbito global, no entanto, ainda que se reconheça a importância do controle da febre aftosa, a erradicação mundial da doença é dificultada pelo alto custo e pelo fato de que nem todos os países afetados apresentam condições financeiras para realizá-la ou não têm interesse na sua erradicação pela pouca importância da pecuária em sua economia (SILVA; MIRANDA, 2005).

Mesmo assim, algumas iniciativas conjuntas entre países estão sendo realizadas no sentido de uniformização das ações de combate e erradicação da doença, como o Programa de Ação Mercosul Livre de Febre Aftosa - PAMA 2006-2009, aprovado pela decisão MERCOSUL/CMC/DEC nº 25/05. O PAMA visa complementar os programas nacionais, garantindo seu desenvolvimento, e uniformizando as ações entre os diferentes países e regiões. O objetivo é solucionar debilidades ou inconsistências dos programas nacionais, e finalmente erradicar a febre aftosa no âmbito do Mercosul e Estados Associados participantes, considerando o cumprimento de uma meta comum de erradicação para o ano de 2009, bem como sustentar a

condição epidemiológica alcançada mediante o funcionamento de um sólido Sistema de Vigilância Veterinária.

O Centro Panamericano de Febre Aftosa (PANAFTOSA), um programa de cooperação técnica da Organização dos Estados Americanos - OEA e administrado pela Organização Panamericana da Saúde - OPS, existe desde o ano de 1951, e tem o objetivo de analisar, avaliar e trocar informações sobre os principais aspectos técnicos relativos ao controle e erradicação da febre aftosa a nível continental. No início dos programas de controle da febre aftosa, todo o Continente estava afetado pela enfermidade, com exceção da Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Patagônia Argentina. Periodicamente ocorriam epidemias de grande intensidade. A frequência da enfermidade era de 200 a 300 casos de bovinos por dez mil animais, o qual foi reduzido para 2,63 casos por dez mil bovinos no período de 1993-97, sendo ainda que 58% do rebanho bovino do continente se encontra em áreas livres da doença.

### **3.3.2 Profilaxia e prevenção da febre aftosa no Brasil e em outros países**

Como não existe um tratamento específico para animais contaminados com o vírus da Febre Aftosa, tem-se considerado adequado o tratamento sintomático das infecções secundárias bacterianas, pelo uso de medidas de higiene e assepsia, como limpeza das feridas com desinfetantes e uso de antibióticos. No entanto, deve-se atentar ao fato de que o animal mesmo que recuperado da virose ainda possui o vírus ativo em seu corpo, e pode disseminá-lo a outros animais. Por esse motivo muitos países optam pelo sacrifício dos animais efetivamente infectados e daqueles que entraram em contato com animais doentes como forma de controle da doença.

Lima et al. (2005) afirmam que um país pode erradicar a febre aftosa por meio de programas com rigoroso controle do trânsito de animais, dos focos da doença, vacinação adequada e educação sanitária, os quais podem apresentar uma relação custo/benefício bastante positiva.

Nos países livres de febre aftosa, o método geralmente empregado de profilaxia consiste no sacrifício dos animais doentes e suspeitos, destruição dos cadáveres, e isolamento da área afetada. A partir disso, o governo fornece um determinado montante de recursos como indenização aos proprietários que tiveram seu rebanho afetado. Também é empregada a

vacinação regular do gado, a cada 4 ou 6 meses, a partir do 3º mês de idade, como forma de prevenção.

No Brasil, a vacinação contra febre aftosa ocorre normalmente de 6 em 6 meses (em maio e novembro em estados como SP, GO, MT, MS, PA, e parte de MG incluída no circuito pecuário Centro-Oeste; em fevereiro e maio/setembro no RS; em abril e outubro no PR; em março e setembro na BA e na parte de MG incluída no circuito pecuário Leste), exceto devido a motivos excepcionais, como a ocorrência de novos surtos no país.

A vacinação do gado tem sido usada com sucesso na prevenção da febre aftosa em diversos países. Porém, ainda que os animais estejam protegidos contra a doença, os animais vacinados não são totalmente resistentes e podem ainda ser infectados e transmitir o vírus (MARSH et al., 2005). A resistência dos animais se reduz rapidamente, e por isso eles devem ser revacinados em intervalos regulares.

No Brasil, alguns regulamentos relacionados à febre aftosa são de âmbito federal (como o estabelecimento da indenização a ser recebida no caso de ocorrência de surtos), enquanto outros são de âmbito estadual (como a forma de vacinação, e as punições pela não prevenção).

O Decreto no. 24.548 do governo federal, de julho de 1934, aprovou o primeiro Regulamento do Serviço de Defesa Sanitária Animal no país, o qual tratava, de maneira geral, de regular as medidas de profilaxia e prevenção para preservar o país de invasão de diversos tipos de doença animal. Como forma de defesa dos rebanhos nacionais, foi determinada a proibição da entrada em território nacional de animais doentes ou suspeitos, bem como o sacrifício dos animais doentes. Também foi determinado que o Serviço de Defesa Sanitária Animal, por intermédio do seu pessoal técnico, cooperaria gratuitamente com os criadores, na assistência veterinária aos seus rebanhos. Em relação à prevenção, as vacinas deveriam ser adquiridas pelos produtores, sendo gratuita a aplicação pelos funcionários do Serviço de Defesa Sanitária Animal.

Pela Lei nº 569, de dezembro de 1948, foram estabelecidas as indenizações a serem recebidas pelos produtores cujos animais foram atingidos por alguma moléstia. Assim, seriam sacrificados os animais atingidos por qualquer das doenças especificadas no Regulamento do Serviço de Defesa Sanitária Animal, e dentre elas a febre aftosa. A indenização devida pelo sacrifício do animal, para o caso da febre aftosa, foi determinada como a metade do valor do

animal quando confirmado o diagnóstico, ou o valor total do animal quando a necropsia ou outro exame não confirmar o diagnóstico clínico.

Atualmente, o pagamento da indenização só pode ser efetuado mediante a conclusão de dois laudos apurados, um pelo órgão de defesa agropecuária estadual competente e o outro pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por intermédio da Superintendência Federal de Agricultura - SFA, comprovando que o proprietário fez o controle sanitário do rebanho através da vacinação.

No caso ocorrido no Mato Grosso do Sul, em outubro de 2005, o valor recebido pelos produtores como indenização pelos animais sacrificados foi baseado no preço de mercado do animal. Segundo o Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura (comunicação pessoal), foi composta uma comissão de avaliadores com membros do próprio Ministério, do setor privado e de órgãos estaduais de Defesa Sanitária Animal para determinar o valor da indenização. Para os animais pertencentes à propriedade que sofreu o surto, um percentual de 50% do valor acordado foi pago pelo governo federal, e a outra parte pelo governo estadual (ou fundo de emergência estadual). Já para os animais das propriedades vizinhas que foram sacrificados, o valor total da indenização foi coberto pelo governo federal.

Em 20 de março de 1993 foi publicada a Portaria No. 121 do Ministério da Agricultura, aprovando as normas para combate à febre aftosa em todo o território nacional. Segundo o disposto na medida, as estratégias de atuação devem possuir critérios diferenciados, de acordo com possíveis situações: área endêmica com vacinação obrigatória, área livre com vacinação obrigatória, e área livre sem vacinação. O combate à doença consiste na aplicação das seguintes medidas: notificação obrigatória dos casos; assistência aos focos, vacinação obrigatória de bovinos e bubalinos nas áreas com programas, controle da produção e fiscalização de comercialização da vacina; controle de fiscalização de trânsito de animais e dos recintos de concentração dos animais; desinfecção de ambientes e veículos; sacrifício dos animais doentes e que tiveram contato com estes; destinação adequada de excretas, carcaças e restos de animais; limpeza e desinfecção ou destruição de equipamentos e materiais diversos utilizados no foco.

Em relação à vacinação, essa mesma medida dispõe que a manutenção das “áreas livres sem vacinação” deverá ser apoiada na vigilância epidemiológica e demais medidas sanitárias previstas na norma. A vacinação, por sua vez, deve ser realizada obedecendo-se ao Calendário Nacional de Vacinação contra Febre Aftosa, aprovado pela Secretaria de Defesa Agropecuária

(Portaria N° 82, de 28 de junho de 1996, por proposta do Departamento de Defesa Animal, elaborado de acordo com a situação epidemiológica de cada área<sup>11</sup>). Ao serviço oficial, cabe a fiscalização da aplicação da vacina nos estabelecimentos de criação, podendo esta ser efetuada por amostragem aleatória ou dirigida, com prioridade para áreas de maior risco.

Em relação ao custo do sacrifício dos animais doentes e suspeitos no caso da ocorrência de um surto, este deve ser incorrido pelo respectivo órgão de Defesa Sanitária Animal estadual, não recaindo sobre o produtor, segundo o Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura (comunicação pessoal).

No tocante aos regulamentos de âmbito estadual, estes são muito semelhantes em termos das normas de prevenção a serem adotadas, quando estas são cabíveis, porém algumas diferenças existem na fiscalização e punição aos que desrespeitarem as normas.

Em abril de 1969, o governo do Estado de São Paulo instituiu o Decreto-Lei N.º 49, que dispõe sobre a instituição da Campanha de Combate à febre aftosa no Estado. Assim, foi determinado que o proprietário, o depositário, ou transportador de animais, ficam obrigados a comunicar à Casa da Agricultura ou ao Serviço de Combate à Febre Aftosa a ocorrência de focos da moléstia, eventualmente existentes. Os órgãos competentes da Secretaria da Agricultura, verificada a enfermidade, podem então interditar as áreas atingidas e proibir o trânsito de animais contaminados ou contamináveis. No caso do proprietário se negar a realizar o combate à febre aftosa, terá o seu estabelecimento interditado, e aos infratores da lei serão aplicadas penalidades através de multas.

Em novembro de 1992, a Lei nº 8.145 altera o decreto-lei no. 49. Os proprietários de rebanho bovino ficam obrigados a tomar medidas de prevenção e controle nos prazos e condições estipulados pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Constatada a inexecução de vacinação no período fixado, esta será implementada pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento, sujeitando-se o criador ao pagamento dos serviços, da vacina e dos materiais empregados. Aos proprietários que deixarem de vacinar os animais (bovinos e bubalinos) contra a febre aftosa nos períodos e forma fixados pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento,

---

<sup>11</sup> A vacinação de bovinos e bubalinos deverá ser efetuada até os quatro meses de idade, revacinando-se os primovacinados três meses após e daí em diante, de seis em seis meses, até a idade de dois anos. A revacinação dos bovinos e bubalinos com dois anos ou mais de idade deverá ser feita anualmente. Os bovinos e bubalinos com dois anos ou mais de idade somente poderão entrar no esquema de revacinação anual após terem sido vacinados, no mínimo, por quatro semestres consecutivos e após avaliação da situação epidemiológica da área.

cabará ainda uma multa de cinco Unidade Fiscal do Estado de São Paulo - UFESP por cabeça (equivalente a R\$ 66,50 em novembro de 2005), e de três Ufesps (R\$39,90) por cabeça, por deixar de comunicar a vacinação.

Em caso de reincidência, as multas previstas serão aplicadas em dobro. Ademais, pela Lei n.º 9.530, de abril de 1997, ficando devidamente comprovada a culpa ou do dolo dos proprietários pela falta de vacinação contra a febre aftosa, cumulativamente com a multa prevista, os proprietários deverão ficar suspensos de suas atividades pecuárias pelo prazo respectivamente de 2 e 4 anos. Caracteriza-se a culpa quando o proprietário descumprir, injustificadamente, a notificação do Escritório de Defesa Agropecuária para realização de vacinação e o dolo, quando comprovada a intenção do mesmo em disseminar a doença.

No decreto n.º 44.037, de junho de 1999, outras medidas são determinadas pelo governo do Estado de São Paulo. Este determina que a vacinação contra a febre aftosa deve ser custeada e efetuada pelo proprietário dos animais, e deve ser comprovada mediante fiscalização pelos técnicos dos Escritórios de Defesa Agropecuária, através das seguintes informações: número da nota fiscal comprobatória da compra da vacina; nome do vendedor da vacina; número da partida, data de fabricação e nome do laboratório produtor; tipo de vacina; data da vacinação; número de animais vacinados por espécie; entre outros. Sempre que for constatada a ocorrência de febre aftosa, deverão ser interditados os estabelecimentos localizados na área do foco e num raio de até 25 quilômetros, estabelecendo-se normas para o trânsito de veículos e proibindo-se qualquer movimentação ou evento que envolva concentração de animais. Também deverão ser apreendidos e sacrificados os animais suscetíveis à febre aftosa: com sintomas da doença, existentes na área do foco delimitada pelo Escritório de Defesa Agropecuária; e que se encontrem em trânsito oriundos de rebanhos infectados. Depois do procedimento do sacrifício, deverá ser realizada a limpeza e desinfecção da propriedade, vazio sanitário e introdução de animais sentinelas. A propriedade somente será desinterditada e poderá então retomar o seu status sanitário após a execução das medidas sanitárias descritas anteriormente e realização de dois exames laboratoriais negativos consecutivos, com intervalo de 60 dias entre os exames.

Além disso, sem a vacinação, o produtor não tem direito à Guia de Trânsito Animal. Frigoríficos e laticínios também são proibidos de receber gado ou leite de animal não vacinado.

No Estado do Mato Grosso do Sul, a Lei Nº 1.045, de 23 de maio de 1990, estabelece as normas de prevenção, controle e combate a Febre Aftosa na região. As regras de vacinação e

comunicação dos casos da doença são semelhantes às mencionadas anteriormente, dispostas pelas Leis estaduais de São Paulo.

No tocante à punição, no entanto, a Lei Nº 1.045 determina: multa de 20 a 100 vezes a Unidade Fiscal de Referência de Mato Grosso do Sul – UFERMS (equivalente a uma faixa entre R\$ 226,00 e R\$ 1.130,00 em novembro de 2005), além de interdição da área, aos produtores que não comunicarem à Agência Estadual de Defesa Sanitária Vegetal e Animal - IAGRO da ocorrência ou suspeita de foco de Febre Aftosa; multas de 0,2 a 2 vezes a UFERMS (equivalente a uma faixa entre R\$ 2,26 a R\$ 22,60 em novembro de 2005) por animal existente na propriedade ao produtor que não vacinar os bovinos e bubalinos; animais em trânsito não acompanhados de comprovantes de vacinação implica em multa de 5 a 20 vezes a UFERMS (entre R\$ 56,50 e R\$ 226,00) por animal.

A forma de fiscalização da vacinação pelo órgão estadual competente varia de estado para estado. De maneira geral, os funcionários do órgão de Defesa Sanitária Animal de uma determinada região escolhem uma amostra de propriedades para acompanhar e assistir a vacinação dos animais. Para aqueles proprietários cuja propriedade não teve a vacinação assistida, a comprovação é feita por meio da nota fiscal. Alguns estados exigem, além disso, que sejam devolvidos os frascos das vacinas como forma de comprovação da aplicação, como é o caso do Mato Grosso do Sul (IAGRO, 2007).

No Estado de Santa Catarina, por sua vez, a legislação não obriga os produtores a vacinar seu rebanho, visto que o Estado obteve junto à OIE obter o status de área livre de aftosa sem vacinação.

A Portaria nº 153 do Ministério da Agricultura, de 27 de abril de 2000, declarou a zona formada pelos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina como zona livre de febre aftosa sem vacinação, e a Instrução Normativa nº 13 do mesmo órgão, de 19 de maio de 2000, aprovou as normas visando a proteção da zona livre de febre aftosa sem vacinação nestas regiões. No entanto, em agosto de 2000, o Estado do RS apresentou novo surto da doença, o que suspendeu seu status de livre de aftosa sem vacinação.

Uma das maiores dificuldades de se obter o status de país ou área livre de aftosa é a de manter a condição sanitária alcançada, o que exige procedimentos permanentes de vigilância. Segundo Lima et al. (2005), as causas mais frequentes de reincidência da doença são: contato

com animais susceptíveis de países vizinhos que ainda tenham a doença; entrada de animais ou subprodutos de maneira legal ou ilegal, por portos, aeroportos ou fronteiras terrestres; entrada no país de pessoas ou veículos que carreguem o vírus; falhas nas medidas de biossegurança de laboratórios que manipulem o agente, tanto para diagnóstico como para produção de vacina.

Weissheimer (2006) levanta a questão da importância da vacinação como forma de prevenção da febre aftosa. Segundo ele, o ressurgimento da febre aftosa na Europa e na América do Sul no início dos anos 2000 foi o resultado de decisões governamentais falhas, orientadas pela lógica do mercado. O autor afirma que foi decidido suspender a vacinação do gado em diversos países, criando assim as condições ambientais para o retorno da enfermidade. Levando-se em conta a divisão dos países em “livres da aftosa com vacinação” e “livres da aftosa sem vacinação”, seria preciso passar a esta segunda categoria para conquistar novos mercados, levando diversos países a suspenderem a vacinação dos rebanhos.

Os Estados Unidos, onde o último surto da doença foi registrado em 1954, conseguiram erradicar a doença através de campanhas sistemáticas de vacinação, e por isso têm uma posição muito rígida quanto ao comércio de carne bovina e suína. Desde então, os Estados Unidos são considerados livre da aftosa sem vacinação (WEISSHEIMER, 2006).

Já na Europa, produtores e pesquisadores travaram uma intensa polêmica sobre a necessidade da vacinação, desde o ano de 1985. Neste ano, uma diretiva do Conselho das Comunidades Europeias apontava futuras medidas para o abandono da vacinação. Em seguida, trabalhos científicos e econômicos, segundo Weissheimer (2006), levaram os responsáveis europeus a decidir pelo abandono da vacinação, com base em estimativas de que esta política era mais racional e, além disso, oferecia vantagens comerciais na busca de mercados importadores.

Segundo a lógica dos veterinários britânicos, a vacinação dificulta a detecção do vírus da febre aftosa, já que não é possível dizer se os anticorpos do animal vêm da vacina ou do agente infeccioso. Dessa maneira, o país que vacina o rebanho não pode ser declarado livre da doença. Logo, a decisão dos europeus de abandonar a vacinação seguiu uma lógica econômica; ou seja, eliminar o rebanho infectado sairia mais barato do que tentar prevenir a infecção (WEISSHEIMER, 2006).

Assim, a partir da década de 90 decidiu-se suspender a vacinação nos países europeus, o que foi facilitado por outros fatos ocorridos anteriormente. Em 1948, o artigo 20 do Acordo Geral

de Preços e Tarifas - GATT estabelecia o direito dos países proibirem a importação de um produto considerado ameaçador para a saúde humana, incluindo aí animais e plantas. A adoção de barreiras sanitárias, portanto, passou a substituir a obrigatoriedade da vacinação, no caso da febre aftosa. Nessa época, foi consolidada a divisão do mundo em dois grandes blocos: os países que tinham conseguido erradicar a doença e aqueles que – quer vacinassem ou não seus rebanhos – ainda apresentavam focos da doença (WEISSHEIMER, 2006).

Em 1995, o acordo SPS (Sanitário e Fitossanitário) firmado na Rodada Uruguai, do GATT, reconheceu a legitimidade da adoção de barreiras sanitárias no plano do comércio internacional. A Organização Mundial do Comércio - OMC, que sucedeu o GATT em 1995, não tratou mais de normas sanitárias animais, delegando a função para a OIE.

Segundo Weissheimer (2006), o próprio desenvolvimento da agricultura moderna e as novas relações comerciais entre os países acabaram por reforçar o dilema da prevenção de doenças, mesmo buscando maior segurança alimentar para o consumidor. Na União Européia, uma série de normas sanitárias adotadas para impedir surtos de doenças reduziu de 1.000 para 387 o total de matadouros no Reino Unido desde meados dos anos 80, o que obriga os animais a viajarem mais para ser abatido, aumentando o risco de contaminação dos mesmos. Outra exigência da União Européia é que o animal seja solto ao longo da viagem para descansar, o que também aumenta o risco de contágio do rebanho de propriedades vizinhas. Também a formação do bloco econômico europeu, ao abrir o mercado alimentício, faz com que produtos contaminados passem sem inspeção pelas fronteiras do bloco.

Tem-se argumentado que as grandes redes de supermercado, que hoje controlam grande parte da distribuição de gêneros alimentícios no varejo, também contribuíram para o surgimento de surtos de doenças, por terem centralizado a produção de carnes em abatedouros únicos para obter escala, de acordo com Weissheimer (2006).

Da mesma forma, a globalização e as facilidades de transporte na atualidade têm sido identificados como fatores facilitadores da disseminação de doenças, aumentando os riscos relacionados às questões sanitárias (SILVA; MIRANDA, 2006).

O ressurgimento de focos de aftosa em 2001 no Rio Grande do Sul - Estado considerado livre de aftosa sem vacinação até essa data-, tem sido considerado por alguns agentes um

resultado dessa lógica de mercado, de que a vacinação do rebanho dificultaria a detecção do vírus e prejudicaria as exportações, segundo Weissheimer (2006).

Já para o Diretor-Presidente do IAGRO (órgão estadual de defesa sanitária animal do Mato Grosso do Sul), João Cavallero, o problema nem sempre é a falta de vacinação, dado que somente a vacina não impede a entrada da febre aftosa numa região (PETELINKAR, 2005). Por isso, Cavallero defende a adoção de um programa de combate à febre aftosa mais amplo, abrangendo também os outros países vizinhos que também sofrem com a doença.

Na Austrália, país livre da febre aftosa sem vacinação, o Plano de Emergência Veterinária - AUSVETPLAN para a febre aftosa apresenta duas opções de controle e erradicação da doença: (i) a preferida, e melhor opção para erradicar a doença rapidamente, é o *stamping-out*, que envolve o sacrifício de todos os animais infectados e expostos ao vírus, e a imposição de controle de trânsito para evitar a disseminação da doença; (ii) a vacinação geral dos animais ou por zonas pode ser usada, porém é vista como uma última estratégia a se recorrer, apenas nos casos de grande e rápida disseminação da doença, que tenha exaurido os recursos disponíveis para *stamping-out*. Nesse caso, todos os animais vacinados deverão ser sacrificados antes da recuperação do acesso aos mercados que anteriormente impuseram embargo aos produtos do país (DENT, 2002). Assim, a maior desvantagem da vacinação, segundo Dent (2002), é a redução das exportações de carne bovina, pelos motivos já explicitados.

Atualmente, segundo Lima et al. (2005), as provas sorológicas possibilitam diferenciar animais vacinados contra a febre aftosa daqueles que estiveram expostos à infecção natural, o que teoricamente deve facilitar a aceitação dos animais de áreas livres com vacinação. Os autores atentam, porém, para o fato de que a área livre de febre aftosa sem vacinação não é área livre de risco.

Chymis et al. (2004) tratam da questão da vacinação sob o ponto de vista econômico direto, ou mais especificamente, avaliando os custos envolvidos. Para esses autores, o custo de vacinação por cabeça de gado é relativamente baixo (entre US\$ 0,50 a US\$ 5,00 por cabeça nos Estados Unidos, para a revacinação), mas quando envolve um grande número de animais pode ser consideravelmente elevado.

Outros custos indiretos da vacinação incluem o tempo gasto com o procedimento e as lesões causadas na carcaça do animal, o que pode reduzir a qualidade, e conseqüentemente o

preço do mesmo. Este último fator é um dos argumentos utilizados por alguns produtores para não vacinar os animais, principalmente quando se trata de raças de animais PO (pura origem), e mais valorizadas no mercado. Ocorreram casos no Brasil onde o produtor deixou de vacinar um lote de animais mais valorizados para evitar perda da qualidade da carcaça, e justamente estes contraíram a doença, o que obrigou o produtor a sacrificar todo o seu rebanho. Especialistas no assunto afirmam, no entanto, que a chance de lesões na carcaça do animal é pequena se a vacina é aplicada de maneira correta e com os procedimentos higiênicos exigidos<sup>12</sup> (informação verbal).

Outra razão que desestimula a vacinação, segundo agentes do Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura (comunicação pessoal), é a falta de percepção por parte do produtor de um retorno direto e imediato da vacina contra a febre aftosa, como ocorre com outros tipos de medicamentos aplicados nos animais (como de controle parasitário, que faz com que os animais intensifiquem o ganho de peso). O retorno da vacina somente será verificado no caso de um surto da doença ocorrer na proximidade da propriedade do produtor, e este ter vacinado seu animal. Em outras palavras, a vacina não agrega valor ao animal, mas sim o risco de contaminação.

Um grande dilema na decisão de vacinação dos animais é que, mesmo quando um produtor vacina seu gado, se seu vizinho não vacina, e conseqüentemente esse gado é infectado, até mesmo para o produtor que vacinou incorrerá em custos, mesmo que seu gado esteja sadio. Isso decorre de dois fatores estabelecidos pela regulamentação: os animais localizados dentro de um determinado raio do foco da doença devem ser sacrificados, mesmo que aparentemente sadios; além disso, os países importadores da carne do país onde a doença é identificada, possivelmente suspendem suas compras de toda a região, independente do gado ter sido vacinado ou não, sendo que em casos extremos o embargo pode atingir todo o país.

Por outro lado, a vacinação de todo o rebanho, que é uma das formas mais eficientes de prevenção da febre aftosa, representa custos para o produtor, além do que muitos países considerados livres da febre aftosa não importam carne de países que vacinam seus animais. Verifica-se também que países livres da doença conseguem comercializar melhor seu produto no

---

<sup>12</sup> BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Saúde Animal. 8 maio 2007.

mercado internacional<sup>13</sup>. Portanto, se a probabilidade de ocorrer um surto de febre aftosa em uma região é muito pequena, o custo de vacinação acaba sendo desnecessário.

Quanto à vacinação do rebanho brasileiro, dados do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2004) mostram que a proporção de animais vacinados relativamente aos não vacinados vem crescendo ao longo dos anos, e já se constituem na grande maioria. Em 2004, dos 198 milhões de animais do rebanho brasileiro (considerando bovinos e bubalinos), 188,6 milhões foram vacinados (Figura 10).

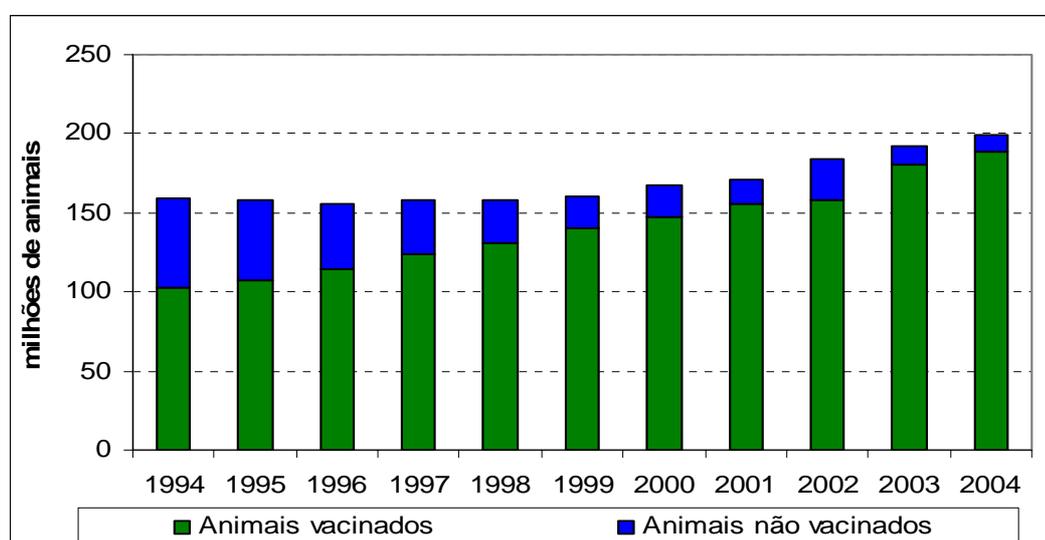


Figura 10 - Evolução da vacinação contra febre aftosa no Brasil (1994-2004)

Fonte: Brasil (2004)

<sup>13</sup> Ekboir et al., 2002 apud Rich (2004) estima que países livres de aftosa conseguem comercializar a carne fresca no mercado internacional com um prêmio de 10% a 50%. Em comunicação pessoal com agentes do Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura do Brasil, constatou-se que países como o Japão chegam a pagar um prêmio de até 400% sobre carne de países livres de aftosa sem vacinação. Outros estudos, no entanto, como o de Jarvis et al. (2005), buscam confirmar a hipótese de que essa segmentação entre países livres da doença e outros onde a doença é considerada endêmica está diminuindo. Ou seja, alguns países onde a doença era historicamente endêmica conseguiram controlar a enfermidade, além de que o maior conhecimento científico mostrou que produtos processados de maneira apropriada e carne desossada de países que ainda não controlaram da doença apresentam baixo risco de contaminação. Os resultados mostraram, então, que vem ocorrendo uma convergência entre os preços.

### 3.3.3 Implicações da febre aftosa para o Brasil

Os impactos causados pelos surtos de febre aftosa são expressivos para um país como o Brasil, onde o setor de carnes é responsável por 17,4% das exportações do agronegócio e 6,2% das exportações totais do país, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (BRASIL, 2007).

No caso de febre aftosa registrado em outubro/2005 no Mato Grosso do Sul - estado que concentra o maior rebanho de corte do país, com o segundo maior parque industrial do setor, e que era responsável por 45% das exportações de carne brasileiras -, e logo em seguida, em dezembro de 2005, no Paraná<sup>14</sup>, um dos efeitos imediatos do surto foi a restrição aplicada à carne brasileira por 52 países, e dentre eles os maiores importadores da carne brasileira, como Rússia e União Européia - UE. Alguns países suspenderam a compra apenas dos estados afetados, enquanto outros suspenderam a importação de todo o país.

Os países que impuseram algum tipo de restrição à carne brasileira, seja esta parcial ou total, são: África do Sul, Chile, Colômbia, Cuba, Indonésia, Israel, Namíbia, Peru, Uruguai, Malásia, Cabo Verde, Angola, Bulgária, Bolívia, Cingapura, Egito, Moçambique, Noruega, Paraguai, Suíça, Ucrânia, Argentina, Rússia, Romênia, China, Tailândia e os 25 países da União Européia, os quais compram cerca de 40% das exportações de carne do Brasil.

Países como o Chile e a Inglaterra restringiram as importações apenas do Estado do Mato Grosso do Sul. No entanto, outros países da União Européia, Israel e África do Sul embargaram a carne importada tanto do Mato Grosso do Sul como dos seus Estados vizinhos: São Paulo e Paraná. Com isso, a restrição atingiu cerca de 80% do volume exportado de carne bovina in natura e 20% da carne suína. A Indonésia chegou a proibir a importação de matérias-primas para a produção de ração animal e medicamentos veterinários, além de qualquer tipo de animal e seus subprodutos de todo o país.

---

<sup>14</sup> Não bastassem os efeitos decorrentes do anúncio da doença no MS, foram levantadas, na mesma época, suspeitas de um surto de febre aftosa no Paraná. A fazenda paranaense suspeita havia recebido animais de Eldorado, no Mato Grosso do Sul, primeiro município a ter um foco de aftosa em outubro de 2005. Depois de quase dois meses de impasse entre os Ministério da Agricultura, os produtores locais e o governo estadual, acerca da confirmação do surto, este foi finalmente comprovado em dezembro de 2005. Mais que o próprio surto, o caso do impasse gerado entre as lideranças locais do setor e o Ministério da Agricultura contribuiu ainda mais para que a imagem do país fosse prejudicada.

A Rússia a princípio restringiu as importações de carne bovina somente do MS, porém em dezembro do mesmo ano ampliou o embargo para dez estados, incluindo Paraná, Rio Grande do Sul e os estados vizinhos a estes, e também para a carne suína.

Além do fechamento do mercado externo à carne brasileira, diversos estados limítrofes com o Mato Grosso do Sul e Paraná fecharam suas fronteiras para o gado e a carne dessas regiões. Ademais, a OIE suspendeu temporariamente o reconhecimento internacional de zona livre de febre aftosa com vacinação dos Estados da Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Sergipe, Rio de Janeiro e Tocantins, além do Distrito Federal, e até outubro de 2007 o status ainda não havia sido restituído.

Depois de confirmados os surtos de aftosa na pecuária dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná, o governo federal instituiu medidas para controle e minimização dos efeitos adversos causados. Uma das ações foi a publicação da Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento no. 3, de 17 de janeiro de 2006, que permitiu o comércio intra-estadual de animais para abate imediato, bem como de produtos e subprodutos cárneos e lácteos originados de propriedades localizadas dentro da área considerada de risco no Mato Grosso do Sul e Paraná, com exceção para os animais e produtos originados das propriedades com ocorrência ou suspeita de febre aftosa. No entanto, segundo essa instrução normativa, a carne obtida dos animais encaminhados para abate imediato deve ser maturada e desossada e os demais produtos e subprodutos submetidos a tratamentos físicos ou químicos capazes de inativar o vírus da febre aftosa, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela OIE. Para os municípios e parte de municípios dos Estados do Mato Grosso do Sul e do Paraná que não se encontram nas áreas de risco definidas nesta Instrução Normativa, não foram instituídas restrições para o trânsito de animais susceptíveis à febre aftosa, assim como de seus produtos, subprodutos e materiais de multiplicação com destino às demais Unidades da Federação, com exceção dos Estados do Rio Grande do Sul, Rondônia, Santa Catarina, Acre, e alguns municípios do Estado do Amazonas, que mantiveram o reconhecimento internacional de zona livre de febre aftosa com vacinação.

Além disso, foi instituído, através da Portaria nº 448, de 26 de outubro de 2005, um Grupo de Trabalho Interministerial com a finalidade de coordenar e articular as ações do governo federal com vistas a conter a expansão de focos de febre aftosa no País, negociar a derrubada de

restrições impostas pelos mercados importadores e assistir em caráter emergencial a população prejudicada pelos efeitos sócio-econômicos decorrentes do surto.

De fato, a aftosa prejudicou a imagem do rebanho brasileiro no mercado internacional, porém, considerando a extensão dos embargos estabelecidos à carne do país, alguns agentes consideram a medida tomada por alguns países como excessiva, dado que o Brasil exporta na sua grande maioria carne desossada e maturada, à temperatura suficientemente baixa, o que não permite a sobrevivência do vírus da doença.

Teoricamente, o embargo às exportações brasileiras de carnes devido ao problema de febre aftosa deveria afetar apenas as vendas externas de carne bovina e suína in natura. A carne bovina industrializada não deveria ser afetada, uma vez que não apresenta risco de contaminação.

Segundo Silva e Miranda (2006), geralmente quando acontece um surto de febre aftosa, ocorre uma queda a princípio no faturamento das vendas nacionais e estrangeiras, para os Estados brasileiros afetados diretamente pelo surto da doença. Primeiramente esse recuo ocorre devido à redução dos volumes e do preço da carne exportada em razão dos embargos dos grandes compradores do Brasil. Posteriormente, a queda da receita ocorre em razão da diminuição do preço da carne no mercado interno, e ao possível excesso de oferta gerado pelo redirecionamento dos frigoríficos exportadores para o mercado doméstico, enquanto o mercado externo não se estabilizar.

De fato, os efeitos sobre as exportações brasileiras de carne puderam ser averiguados já no mesmo mês do aparecimento dos focos ocorridos em 2005 no MS. Em outubro daquele ano, as exportações brasileiras de carne bovina reduziram-se em US\$ 68 milhões em relação ao mês anterior. As exportações de carne bovina in natura somaram US\$ 154 milhões, uma queda de 14,4% em relação a outubro de 2004, e de 23% em relação a setembro de 2005 (BRASIL, 2007). Somente para a UE, houve uma queda de 41,3% nas vendas de carne bovina.

No balanço geral para o ano de 2005, no entanto, o setor ainda apresentou crescimento de 14,94% nas exportações em relação ao ano anterior, atingindo um total de 958,8 mil toneladas, em comparação a 834,2 mil toneladas de 2004 (BRASIL, 2007).

Na primeira metade de 2006, as exportações de carne bovina brasileiras seguiram relativamente estáveis em relação ao mesmo período de 2005. Segundo USDA (2007), a perda de significantes mercados importadores da carne brasileira, como Rússia, Chile e UE, foi

compensada pela expansão do embarque para países como Egito, Arábia Saudita, Israel, Romênia, e outros pequenos mercados, bem como produtos processados para os Estados Unidos.

Em relação aos preços do setor, segundo De Zen (2005), antes do anúncio do foco de 2005, o mercado futuro negociava a arroba de boi para novembro a R\$ 63,90 e para dezembro, a R\$ 63,50. No final de novembro, o mercado físico no Estado de São Paulo operava em torno de R\$ 54,00, com grande volatilidade de preços.

Segundo o mesmo autor, os preços do gado nos estados de MS, PR, SP, MT, GO, MG estão integrados em um mesmo sistema, o da região Centro-Sul, que também vem influenciando e sendo influenciado cada dia mais pela região Norte – PA e RO. Dado que os preços se formam de acordo com os choques de oferta e demanda entre as regiões, qualquer evento, negativo ou positivo, que ocorra em uma região produtora acaba se transmitindo para outras regiões, e gerando impactos sobre os preços.

Assim, o evento da febre aftosa gerou uma diferenciação de mercado entre as regiões produtoras, sendo a diferença de preço entre os produtos não somente resultado dos custos de transporte até o consumidor.

Segundo levantamento realizado por De Zen (2005), em outubro de 2004, os preços do gado em Goiânia foram 7,9% inferiores aos do mercado paulista; já em novembro de 2005, essa diferença caiu para 2,12%. O mesmo ocorreu no Triângulo Mineiro, Cuiabá, Colider e Rio Verde/GO, com reduções entre 2% e 6% dos diferenciais em relação a SP. O sentido inverso ocorreu em MS. Os diferenciais subiram cerca de 10%, ou seja, a diferença de Campo Grande com a média SP que em outubro de 2004 era de 1,85% passou para 12,08% em novembro de 2005; em Dourados e Três Lagoas, o efeito foi menor, em torno de 7%. O alento para o MS veio com a abertura da fronteira paulista, em meados de novembro.

A Figura 11 apresenta os preços reais do boi gordo para os Estados de Goiás, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Com os surtos de febre aftosa no Estado de Mato Grosso do Sul, em outubro de 2005, os preços, que já seguiam uma tendência decrescente, continuaram recuando. Para o Estado de MS, os preços apresentaram uma ligeira recuperação nos meses seguintes, mas voltaram a recuar em dezembro, seguindo o ciclo natural da atividade.

Mesmo com a ligeira recuperação dos preços em novembro/05, o nível de preços atingido no MS foi 16,63% inferior ao praticado em novembro/04 e 24,67% inferior a novembro/03, em termos reais, refletindo a redução da exportação e a maior oferta do produto no mercado interno.

Os efeitos do surto no MS recaíram também sobre os outros estados, como São Paulo e Goiás. Ainda que nestes estados os preços tenham apresentado uma recuperação mais expressiva no mês de novembro/05, os preços praticados no mercado à vista de Goiás foram 8,48% inferiores aos de novembro/04 e 18,03% inferiores a novembro/03, em termos reais. Para o Estado de SP, os preços reais de novembro/05 foram 10,52% inferiores aos de novembro/04 e 18,55% inferiores aos de novembro/03.

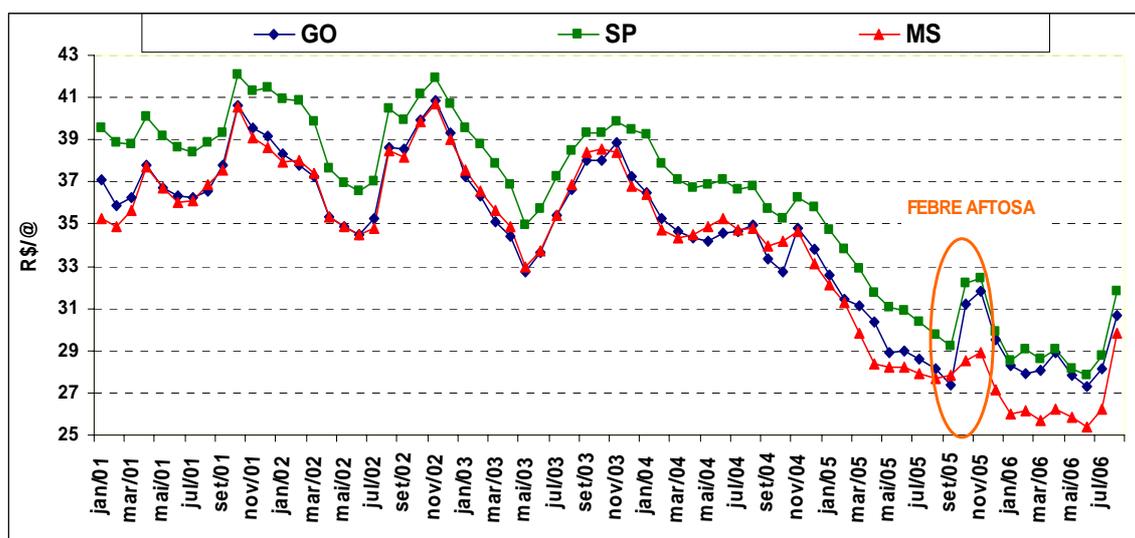


Figura 11 - Evolução dos preços reais do boi gordo nos Estados de Goiás, São Paulo e Mato Grosso do Sul (R\$/@ - jan/01 a ago/06 – deflacionados pelo IGP-DI)

Fonte: CEPEA (2006)

Isso mostra que o reaparecimento da febre aftosa causou grandes perdas para os produtores, e até mesmo nas regiões onde a doença não chegou - GO, MT, SP e MG, em especial -, os preços atingiram níveis inferiores aos esperados antes da crise.

Durante a crise e nos meses seguintes, foram fechados cerca de 16 frigoríficos e dispensados milhares de trabalhadores nas regiões afetadas, e as plantas industriais

remanescentes estavam trabalhando com ociosidade de até 30% da capacidade instalada (STEMPNIEWSKI, 2006). Isso é importante para ressaltar uma outra dimensão das perdas com a incidência da doença, que não estritamente econômica, indicando também a implicação social.

A impossibilidade de exportação em certas regiões penaliza também os fabricantes de ração e insumos, além dos setores de transporte e embalagem, atingindo praticamente toda a cadeia de produção.

Além da perda de receita dos diversos agentes da cadeia, levantamento do Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2006) mostra que 34.332 mil animais susceptíveis (sendo mais de 30.000 bovinos, 593 ovinos e caprinos e 423 suínos) foram sacrificados na área afetada pela febre aftosa no estado do Mato Grosso do Sul, como forma de controle da doença. O sacrifício dos rebanhos é medida adotada para agilizar o processo de busca do restabelecimento do status de área livre de febre aftosa. Depois desse procedimento, deve-se deixar as propriedades 30 dias sem gado. Em seguida, bois-sentinelas (bezerros não vacinados) são colocados nas fazendas para testar a eficiência da limpeza. Esses animais devem permanecer nas áreas durante 30 dias sem ficar doentes. Depois, eles são submetidos a testes para verificar se ainda há o vírus na região. Todo o processo deve demorar seis meses.

Como forma de compensar os danos gerados pela doença, o governo federal disponibilizou o crédito extraordinário de R\$ 33 milhões em favor do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para serem usados na erradicação da febre aftosa, segundo a Medida Provisória no. 265/2005, publicada no Diário Oficial de 28 de outubro, e convertida na Lei no. 11.270, de 19 de Janeiro de 2006. Desse total, R\$ 20 milhões foram gastos com as indenizações, e R\$ 6 milhões foram usados para apoiar as famílias que tiveram perda de renda, principalmente produtores de gado de leite. Do restante, R\$ 6 milhões foram aplicados em ações de defesa na fronteira e R\$ 1 milhão foram reservados para ações educativas (AGÊNCIA ESTADO, 2006).

Anualmente o governo já gasta um determinado montante de seu orçamento com a defesa sanitária. De acordo com dados do Sistema Integrado de Administração Financeira do governo federal, até o dia 19 de outubro, do limite orçamentário total destinado à Secretaria de Defesa Agropecuária para o ano de 2005, que totaliza R\$ 91,1 milhões, cerca de R\$ 55,4 milhões (61%) já estavam comprometidos com o pagamento de algum produto ou serviço. Além desse montante, outra parcela dos recursos empregados na defesa sanitária do país provém do setor privado. Em

uma análise histórica, verifica-se que o montante total gasto com defesa sanitária no país (com ênfase no programa de erradicação da febre aftosa) variou de ano para ano entre 1992 e 2004, apresentando de maneira geral uma tendência crescente, porém o que se observa é que a maior parte dos gastos anuais provém da iniciativa privada (Figura 12). Em 2004, por exemplo, 81% dos gastos vieram da esfera privada.

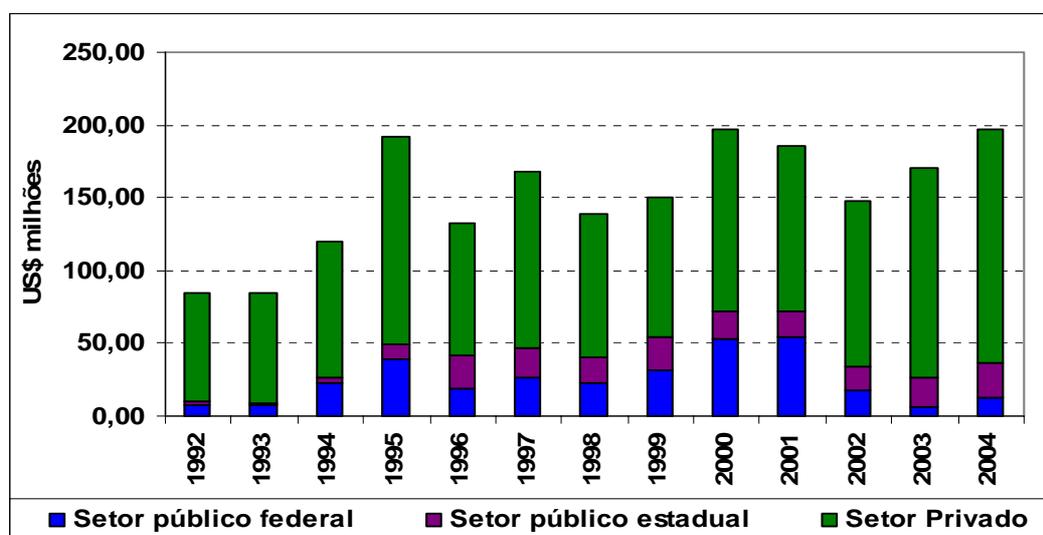


Figura 12 - Gastos com defesa sanitária animal no Brasil, por setor (US\$ milhões)

Fonte: Brasil (2004)

Vale lembrar que os custos dos surtos de febre aftosa não recaem somente sobre os produtores de carne bovina. Outros mercados também sofreram com o problema, como o de lácteos e o de carne suína. No caso do surto de febre aftosa no Mato Grosso do Sul, por exemplo, 14 países suspenderam suas compras de carne suína do Brasil, além do embargo aplicado à carne bovina.

Outros custos decorrentes da febre aftosa são o de sacrifício sanitário dos animais e erradicação da doença. No surto ocorrido em 2005 no Estado do Paraná, o governo estadual liberou um montante de R\$ 786.200,00 para o controle da doença, a serem despendidos com abertura das valas, necrópsia de alguns dos animais sacrificados, equipe técnica que atuou na operação, limpeza, desinfecção de equipamentos, etc. (AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS – AEN, 2006).

De maneira geral, todo país que registra casos de febre aftosa deve se preparar para arcar com custos relativamente elevados de controle/erradicação da doença. Na Holanda, por exemplo, apurou-se que o custo de controle do surto ocorrido em 2001, que atingiu uma parte relativamente pequena do país, foi de US\$ 250 milhões. No surto ocorrido no Reino Unido, também em 2001, o custo de controle foi estimado entre US\$ 3,7 e 5,3 bilhões (MARSH et al., 2005).

### **3.4 Restrições comerciais ao comércio de produtos agropecuários**

As doenças que afetam a produção animal, gerando implicações para o comércio internacional de seus produtos, além de prejuízos econômicos para países produtores e consumidores, podem ser associadas ao conceito de bens públicos, uma vez que causam externalidades de níveis globais (MARSH et al., 2005).

Segundo Paarlberg et al. (2005), o estímulo ao comércio internacional de animais e seus produtos pode apresentar consequências conflitantes. Por um lado, existem os benefícios associados ao livre comércio internacional, sustentados tanto pela teoria econômica, como por evidências empíricas. Por outro lado, a abertura de fronteiras pode resultar na importação não apenas dos animais, como da doença, implicando em prejuízos econômicos. As regras de comércio internacional buscam equilibrar esse conflito, permitindo que uma nação proteja a saúde e segurança animal e vegetal através de barreiras comerciais, desde que essas medidas não mascarem um objetivo protecionista. No entanto, não tem sido fácil julgar se a medida segue esse critério exato.

No caso da febre aftosa, por exemplo, uma das consequências imediatas sofrida por um país que registra um surto da doença é a restrição comercial imposta pelos países importadores de seus produtos. Se não do país todo, pelo menos o produto proveniente da região afetada pode ter seu comércio interrompido (MARSH, 2005), e de forma imediata. No entanto, o restabelecimento do comércio entre o país que sofreu o surto e os países compradores, mesmo depois da recuperação e controle da situação sanitária, ocorre de forma bem mais lenta.

Tem sido comum, ainda, a extensão da proibição da importação a outros tipos de carne, quando se pode argumentar que essa advém de animais igualmente suscetíveis à doença ocorrida. A Indonésia, por exemplo, em resposta à identificação do surto de aftosa ocorrida em bovinos no

Brasil, em outubro de 2005, proibiu a importação de carne e derivados de qualquer tipo de animal originado no país. Nessa proibição incluíram-se, ainda, matérias-primas para produção de ração e medicamentos veterinários.

Ademais, existem países que não compram carne de países que vacinam seu rebanho, independente da ocorrência de surtos da doença nesse país, o que também se constitui numa restrição comercial. Na realidade, essa proibição ou banimento fundamenta-se no fato de que mesmo os animais vacinados não são totalmente resistentes à doença, podendo tanto ser infectados como transmitir o vírus (MARSH et al., 2005).

Pode-se verificar, portanto, que a prevenção de doenças transmissíveis, como é o caso da febre aftosa, é o objetivo de diversas medidas técnicas, sanitárias e fitossanitárias tomadas pelos países que importam e/ou produzem carne bovina.

Nesse contexto, é necessário que se verifique se o grau de restritividade imposto pelas medidas estabelecidas pelos países importadores é justificado, ou alternativamente, se as medidas podem ser caracterizadas pelo objetivo puramente comercial e protecionista.

No âmbito do comércio internacional multilateral, regulamentado sob a OMC, o Acordo sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias - SPS trata desse aspecto, o que será apresentado no subcapítulo seguinte.

Ainda que o Acordo da OMC preveja que as barreiras comerciais devem se apoiar em uma base científica, muita controvérsia existe, até mesmo entre a comunidade científica quanto à forma de diferenciar uma barreira protecionista sem suficiente respaldo científico de outra devidamente fundamentada. O que Marsh et al. (2005) enfatizam é que parte dessa controvérsia é causada pela incerteza, a qual muitas vezes pode levar a uma reação excessivamente rigorosa diante de um surto de doença em animais. Ademais, os países importadores impõem barreiras comerciais com base no risco percebido da doença, o qual é por vezes subjetivo, ao invés de real. Marsh et al. (2005) também afirmam que uma falha dos regulamentos da OMC é que eles não são específicos para cada tipo de doença, mas definidos de forma generalizada para tratar de diversas doenças animais e vegetais.

Outra questão que alguns autores questionam (LIMA et al., 2005) é se os países respeitam o princípio da regionalização, previsto no Acordo SPS, nos casos relacionados à febre aftosa. Segundo esse princípio, quando um país reconhece uma área como livre ou de baixa

prevalescência de doenças no território de seus parceiros comerciais, a existência de áreas contaminadas não deverá servir como fundamento para o estabelecimento de barreiras ao comércio. O que estes autores constataram é que nem sempre esse princípio é respeitado.

A seguir é discutido sucintamente o Acordo SPS da OMC.

### **3.4.1 O Acordo SPS/OMC**

Desde a consolidação do Acordo Geral de Tarifas e Comércio - GATT, em 1947, teve início um processo de redução das restrições ao comércio internacional, sendo que naquele período predominava o uso de tarifas como forma de restrição. Essas medidas eram estabelecidas pelos países para proteger a produção nacional da competição estrangeira.

Ao longo de quase seis décadas, foram promovidas várias rodadas de negociações para reduzir as restrições ao comércio internacional. Essas negociações entre os países evoluíram ora com avanços substanciais, ora de forma mais lenta, mas priorizaram claramente a liberalização de produtos não agrícolas.

Somente ao final da Rodada do Uruguai do GATT, em 1994, os países membros conseguiram consolidar um Acordo para a evolução da liberalização de produtos agrícolas. Foi estabelecida também nessa rodada a OMC, importante organismo internacional destinado a regulamentar o comércio internacional, não apenas de bens, mas também de serviços, além de temas relacionados a investimentos e propriedade intelectual, entre outros.

A maioria das disciplinas multilaterais no uso das barreiras técnicas, sanitárias e fitossanitárias é encontrada no Acordo da OMC sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias - SPS e no Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio - TBT. Estes tratam das restrições comerciais que os países podem adotar para proteger sua população e seu território de ameaças relacionadas a doenças animais ou de plantas; de pestes; aditivos, toxinas e contaminantes em alimentos; organismos causadores de doença em alimentos, etc. Outro Acordo anexo, o Acordo Agrícola, não contém disciplinas no uso de medidas técnicas e sanitárias, mas fornece motivação para a adoção de disciplinas nas medidas regulatórias.

Os negociadores reconhecem que a reinstrumentação das políticas sob o Acordo Agrícola, e a subsequente queda do nível de proteção proporcionado pelas tarifas e outras barreiras não-

tarifárias - BNT, poderão aumentar a importância absoluta e relativa das barreiras técnicas e sanitárias existentes e potenciais no mercado internacional. O novo regime de comércio foi especificamente importante nos mercados agrícolas, dado que o uso da maior parte das BNTs agrícolas não haviam sido disciplinadas antes da Rodada do Uruguai.

O Acordo SPS foi criado com o surgimento da OMC, em 1994, e tem o objetivo de garantir que as medidas sanitárias e fitossanitárias, elaborados por países-membros da OMC, não se transformem em obstáculos desnecessários ao comércio. As medidas sanitárias e fitossanitárias podem ser baseadas em padrões internacionais estabelecidos pelo *Codex Alimentarius* (para a segurança dos alimentos), OIE e Convenção Internacional de Proteção Vegetal - CIPV, que são os organismos internacionais com conhecimento técnico-científico para criar normas em suas áreas de atuação.

Quando os países adotam padrões próprios, o Acordo SPS prevê que estes sejam justificados através de fundamentos científicos. Assim, o Acordo permite que as nações adotem barreiras sanitárias mais restritivas que as normas estabelecidas pelos órgãos normalizadores internacionais se estas forem justificadas por uma avaliação de risco. Ademais, as barreiras sanitárias não devem ser mais restritivas do que o requerido para mitigar o risco de maneira apropriada (PAARLBERG et al., 2005).

Este acordo define como medidas sanitárias e fitossanitárias legítimas aquelas que têm como objetivos: proteger a vida animal e vegetal decorrente da entrada, contaminação e disseminação de pestes, doenças, organismos contaminados ou causadores de doenças; proteger a vida e a saúde humana e animal de riscos surgidos de aditivos, contaminantes, toxinas ou organismos causadores de doenças em alimentos, bebidas ou rações. Para tanto, as medidas devem ter fundamento científico ou evidências que comprovem a sua necessidade.

O Acordo SPS ainda prevê que as medidas sanitárias e fitossanitárias não devem discriminar de maneira injustificável entre membros com condições preexistentes idênticas ou similares, incluindo entre seu próprio território e o de outros membros.

A regionalização também é um importante tema em desenvolvimento na OMC. O Acordo SPS prevê que países que possuem áreas em seu território que são livres de doenças ou com baixa probabilidade de ocorrência da mesma devem prover as evidências necessárias para demonstrar

isso aos países importadores. Isso inclui acesso ao país importador para realizar inspeções, testes e outros procedimentos.

Particularmente para o caso da febre aftosa, Lima et al. (2005) afirmam que a preocupação dos países quanto ao controle da doença se reflete no elevado número de medidas estabelecidas. Segundo os autores, entre 1995 e 2004, 25% das notificações relativas à saúde animal feitas ao Comitê do Acordo SPS tinham relação com a febre aftosa. Dentre estas notificações realizadas, considerando os principais importadores e exportadores de carne bovina e suína, constatou-se que grande parte delas tinha um elevado grau de restritividade, ou seja, impediam diretamente o comércio de carnes originadas de países afetados pela aftosa.

## **4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Esse capítulo descreve o desenvolvimento e aplicação de um modelo de Teoria dos Jogos para a análise econômica da prevenção contra doenças em animais. A princípio, discutem-se alguns conceitos importantes da Teoria dos Jogos, que facilitam a compreensão e definição do modelo proposto.

A seguir, um modelo teórico do jogo é desenvolvido, considerando dois cenários: sem a intervenção do governo, e com a intervenção governamental.

### **4.1 A Teoria dos Jogos**

#### **4.1.1 Breve história da Teoria dos Jogos**

A *Teoria dos Jogos* pode ser interpretada como o estudo do comportamento racional aplicado a problemas de decisão interativa (SELA; VLEUGELS, 2006). Seu caráter é interdisciplinar, envolvendo, em grande parte, conceitos da matemática, economia, e outras ciências sociais e comportamentais (McCAIN'S, 2006).

Considera-se que em um jogo, diversos agentes buscam maximizar suas utilidades esperadas - medidas através de determinados indicadores -, escolhendo um curso de ações a ser tomado. A utilidade final de cada indivíduo depende do curso de ações escolhido por todos os participantes. A situação interativa, especificada pelo conjunto de participantes, os possíveis cursos de ação de cada agente, e o conjunto de todos os possíveis resultados, é chamado de *jogo* (SELA; VLEUGELS, 2006).

Ainda que o início da história da Teoria dos Jogos date de período anterior à década de 1940, esse foi o período de maior importância para seu desenvolvimento. Publicações anteriores a essa data tratam de conceitos, teoremas, demonstrações e soluções para problemas específicos que podem ser associados aos “jogos”. Porém, a concepção fundamental e formal da Teoria dos Jogos como parte da teoria econômica foi organizada pela primeira vez pelo matemático John von Neumann. A primeira publicação de importância dessa área de estudo foi “*The Theory of Games and Economic Behavior*”, de 1944, escrita por Von Neumann em colaboração com o economista matemático Oskar Morgenstern (McCAIN'S, 2006).

A composição, em 1950, do exemplo do Dilema dos Prisioneiros por A.W. Tucker, no entanto, é considerada uma contribuição de maior importância que a própria publicação de Von Neumann e Morgenstern. Segundo McCain's (2006), esse exemplo pode ter sido o mais influente das ciências sociais na segunda metade do século XX.

John McDonald's, em sua publicação "Strategy in Poker, Business and War", de 1950, faz a primeira introdução à Teoria dos Jogos para leitores de maneira geral.

O matemático John Nash, estudante de A.W. Tucker e prêmio Nobel de Economia em 1994, também colaborou substancialmente para o desenvolvimento da Teoria dos Jogos com o desenvolvimento de diversos conceitos-chave, já na década de 1950. Em quatro artigos publicados entre 1950 e 1953, o autor realizou contribuições seminais à Teoria dos Jogos Não-Cooperativos e à Teoria da barganha. O conceito denominado "Equilíbrio de Nash" é um deles, e provavelmente é o mais usado conceito de solução na Teoria dos Jogos.

O artigo de H.W. Kuhn de 1953, intitulado "*Extensive Games and the Problem of Information*", descreve a formulação dos jogos extensivos como são atualmente utilizados, bem como alguns teoremas básicos dessa classe de jogos.

Em 1959, Martin Shubik explicitamente, e pela primeira vez, aproxima a teoria de jogos não-cooperativos à estrutura dos oligopólios, em mais uma aplicação da teoria.

Desde o trabalho de von Neumann, os "jogos" têm sido aplicados a um conjunto variado de interações humanas, em que o resultado depende da estratégia interativa de duas ou mais pessoas. Dentre os ramos da ciência que aplicam tal teoria, destacam-se: antropologia, biologia, sociologia, filosofia, ciência da computação, economia (organização industrial, equilíbrio geral, teoria monetária, economia internacional, etc.), engenharia, matemática, ciência política e política pública.

Dentre os "jogos", ou casos estudados pela teoria, pode-se destacar, segundo McCain's (2006): Falências, Batalha de Redes de Conexão, Patentes, Serviço Militar Obrigatório, Coordenação, Escape e Evasão, Destruição Mutualmente Assegurada, Regra da Maioria, Nichos de Mercado, Defesa Mútua, Dilema dos Prisioneiros, Pequenos Negócios Subsidiados, Tragédia dos Comuns, Ultimato, Coordenação de Sistema de Vídeo, etc.

Apesar da vasta aplicação da Teoria dos Jogos nos diversos campos do conhecimento, muitos dos trabalhos desenvolvidos focam a análise teórica, e poucos têm explorado a análise aplicada e empírica, que é um dos objetivos do presente trabalho. Da mesma forma, poucos trabalhos identificados na literatura tratam de sua aplicação específica ao agronegócio, que é um segmento econômico relevante para diversas economias, com peculiaridades que merecem tratamento diferenciado.

A contribuição do presente trabalho, portanto, é desenvolver um modelo que possa ser aplicado de maneira empírica ao agronegócio, mais especificamente ao setor cárneo, e a um problema de grande importância para a economia brasileira, bem como para outros países produtores de bens derivados de animais.

## **4.1.2 Conceitos importantes da Teoria dos Jogos**

### **4.1.2.1 Conceitos que definem o modelo**

Os *modelos de Teoria dos Jogos* buscam transformar situações estratégicas complexas em uma abordagem simplificada e estilizada. Qualquer situação em que os indivíduos precisam fazer escolhas estratégicas e em que o resultado final depende da ação escolhida por cada indivíduo, pode ser modelada como um jogo (NICHOLSON, 2002). Essa teoria também é relevante para modelar o comportamento interdependente dos agentes na tomada de decisão sob a presença de risco, onde o risco e o resultado, atribuídos a um agente, dependem não apenas das suas escolhas, mas também da decisão tomada pelos outros agentes.

Esse contexto parece se adequar à análise da tomada de decisão por parte de produtores, no que se refere à adoção de medidas preventivas contra a incidência de doenças que podem implicar em perdas econômicas substanciais, tanto individualmente, como para uma determinada região ou país.

A presença de externalidade no caso de prevenção contra doenças faz com que as perdas decorrentes de decisões individuais sejam estendidas para o social ou coletivo, o que é considerado na abordagem da Teoria dos Jogos.

De maneira específica, a metodologia parece ser adequada para modelar problemas que envolvem decisões de prevenção contra doenças em animais, em que diferentes estratégias

podem ser modeladas, e que apresentam um risco associado a cada uma delas. Também parece útil para a simulação de diferentes cenários, utilizando-se dados empíricos relativos a um surto de doença em atividade pecuária de importância econômica destacada, como é o caso da febre aftosa no Brasil. Por essa razão optou-se pela utilização desse ferramental para a análise em questão.

Em relação ao modelo propriamente dito, a teoria pressupõe que todos os jogos possuem três elementos básicos: (i) jogadores, (ii) estratégias, e (iii) *payoffs*. Cada tomador de decisão em um jogo é denominado *jogador*. Esse adota *estratégias*, que se constituem em cada curso de ação aberto para um jogador durante um jogo, para cada informação possível que o jogador possa ter, e para cada período em que ele é chamado a tomar uma ação. O *payoff* é o retorno recebido por cada jogador na conclusão de um jogo.

O *payoff* pode ser mensurado em termos de utilidade ou em termos monetários (medido pela renda, ou lucro). Em geral, assume-se que o *payoff* pode ser ordenado para todos os participantes do jogo, de acordo com suas preferências.

Pressupõe-se que os jogadores são racionais e capazes de identificar a estratégia que lhes garante o maior *payoff*. Assim, ao escolher sua estratégia, um jogador supõe que seu oponente também é racional, e escolherá o melhor para si, levando isso em consideração ao tomar sua decisão. O aspecto mais importante para a definição da estratégia para um jogador é compreender o ponto de vista do oponente, de maneira a deduzir prováveis reações às suas ações (PINDYCK; RUBINFELD, 1994).

É importante salientar, no entanto, que a Teoria dos Jogos representa um modelo abstrato de tomada de decisão, e não a realidade social da decisão *per se*. Isso não é diferente, no entanto, no contexto da Teoria Neoclássica. Enquanto a teoria prevê um resultado que segue a lógica do jogo, não se pode garantir que esse resultado representa a realidade empírica (KELLY, 2003). Muitas vezes, as suposições feitas para os modelos aplicados não captam todos os fatores comportamentais e econômicos necessários para reproduzir um contexto empírico e, portanto, deve-se reconhecer sua limitação, bem como a limitação da percepção humana na tomada de decisão (SHUBIK, 1984).

#### 4.1.2.2 Conceitos que classificam os jogos

Os jogos econômicos podem ser classificados como *cooperativos* ou *não-cooperativos*. Um jogo é *cooperativo* quando seus participantes são abertos e dispostos a negociar, podendo estabelecer contratos entre si, o que permite o planejamento de estratégias para todos os participantes em conjunto. Um jogo é *não-cooperativo* quando existem interesses conflitantes entre os participantes, de forma que não é possível a negociação e o estabelecimento de contratos entre eles (PINDYCK; RUBINFELD, 1994).

Um jogo *não-cooperativo*, por sua vez, pode ser representado na *forma estratégica* ou na *forma extensiva*. Um jogo na forma *estratégica*, representado tipicamente numa matriz de *payoffs*, é um modelo para a situação onde cada jogador escolhe seu plano de ação de uma só vez, e as decisões de todos os jogadores são tomadas simultaneamente. Já o modelo de um jogo *extensivo* especifica as possíveis ordens dos eventos, podendo ser representado como uma árvore de decisão típica; ou seja, cada jogador pode rever seu plano de ação não somente no início do jogo, mas também toda vez que ele tem que tomar uma decisão. É interessante ressaltar, no entanto, que os jogos extensivos também podem ser representados na forma estratégica, e vice-versa, sendo que em alguns jogos, a descrição por uma das duas formas pode ser mais conveniente.

Num jogo com *informação completa*, pressupõe-se que os jogadores conhecem suas próprias estratégias e respectivas funções de *payoff*, bem como as dos outros jogadores. Ademais, cada jogador sabe que os outros jogadores têm informação completa. Já num jogo de *informação incompleta*, os jogadores conhecem as regras do jogo e suas preferências, mas não sabem a função de *payoff* dos outros jogadores (KELLY, 2003).

Um jogo de *informação perfeita* é aquele onde os jogadores selecionam suas estratégias seqüencialmente e estão cientes do que os outros jogadores decidiram, ou seja, um jogador conhece a completa história das jogadas até o momento em que passa a jogar, definindo suas estratégias de forma que, combinadas com a de seu oponente, atinja o objetivo pretendido. Já um jogo de *informação imperfeita* é aquele onde os jogadores agem sem saber o que os outros jogadores decidiram previamente, tentando antecipar o comportamento dos oponentes (KELLY, 2003).

Jogos *simultâneos* são aqueles em que ambos os jogadores tomam sua decisão simultaneamente, ao contrário dos jogos *seqüenciais*, onde cada jogador tem sua vez de jogar individualmente (mas isso não significa que o segundo jogador tem perfeito conhecimento do que o primeiro jogou).

Os jogos sequenciais podem ainda ser *repetitivos*, ou seja, aqueles que se repetem a cada período, com os mesmos jogadores, sendo que esses podem rever e alterar suas estratégias ou mantê-las. Os jogos seqüenciais podem se repetir num período de tempo *definido* ou *indefinidamente*, sendo que cada tipo de jogo possui propriedades específicas quanto ao resultado esperado.

Nos jogos seqüenciais com informação perfeita, cada jogador, ao tomar sua decisão, conhece todas as decisões que foram tomadas previamente. Já nos jogos seqüenciais com informação imperfeita, os jogadores não conhecem as decisões tomadas anteriormente, só tendo conhecimento de que seu(s) oponente(s) tomou(aram) suas decisões.

A Figura 13 sintetiza os possíveis jogos de interesse do presente trabalho.

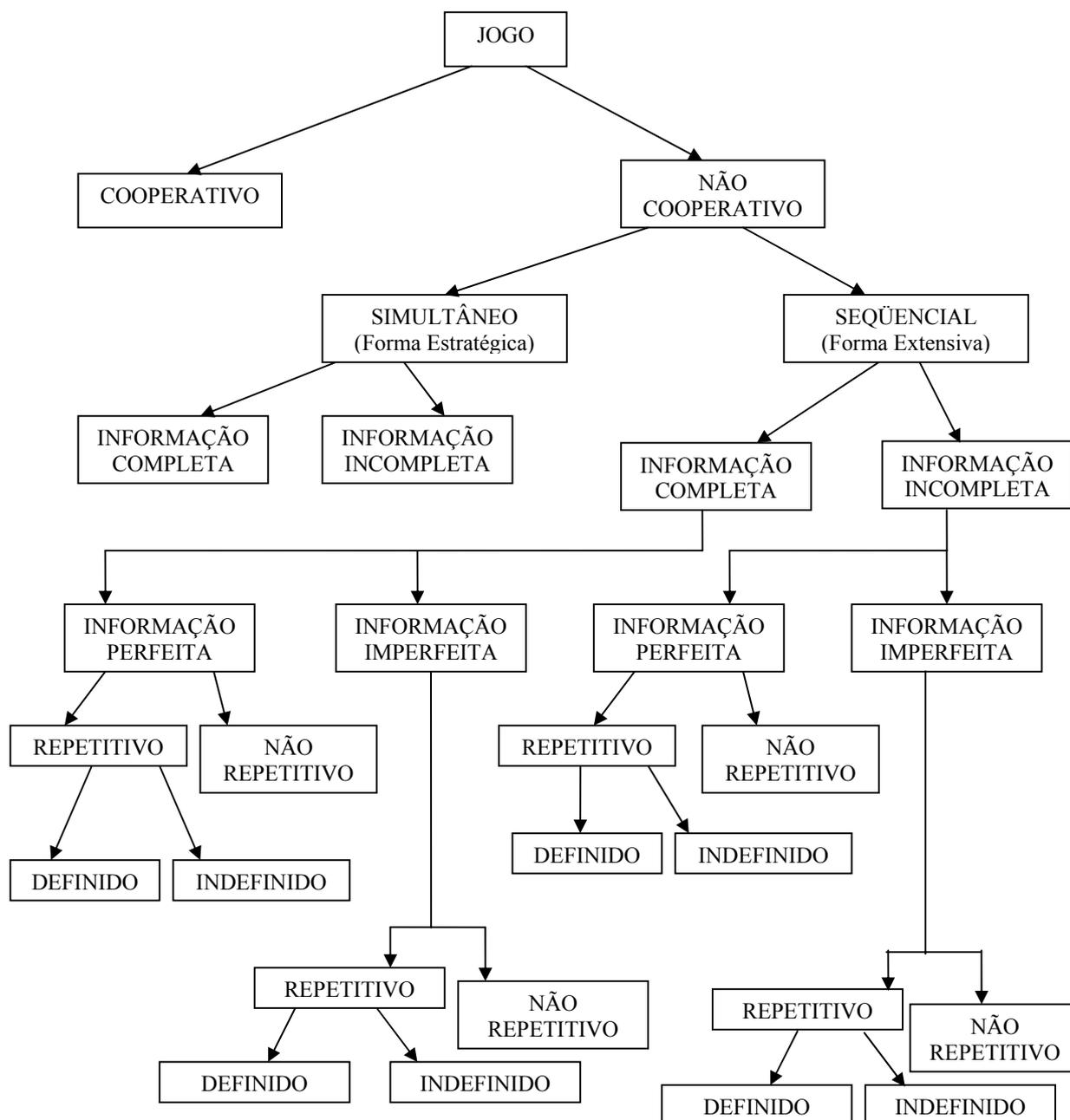


Figura 13 - Modalidades que definem os jogos econômicos

A forma de decisão quanto à melhor estratégia a ser adotada pelos jogadores depende da distribuição dos *payoffs* do jogo. Uma estratégia é dita *estritamente dominante* se é considerada

superior para um jogador, independentemente do que possa fazer seu oponente. Porém, nem todos os jogos possuem uma estratégia dominante. Em alguns casos, a melhor estratégia a ser escolhida por um jogador depende da existência de uma estratégia dominante para seu oponente.

Por outro lado, uma estratégia estritamente dominada é aquela que não representa a melhor resposta a qualquer ação do outro jogador; ou seja, independente do que o outro jogador fizer, haverá outras ações consideradas melhores pelo jogador.

Outro tipo de estratégia que um jogador possui para jogar um jogo é a denominada *Maximin*, que é aquela que maximiza o mínimo valor ou ganho que possa ser obtido. Em certas situações, a estratégia assim caracterizada é aquela em que o jogador assume estratégias visando minimizar as perdas. A referida estratégia é sempre conservadora, porém nunca maximizadora de lucros. Nesse caso, dentre todos os piores resultados que um agente pode obter, a estratégia *Maximin* busca a melhor. A utilização da estratégia *Maximin* pode levar a um resultado que também é um equilíbrio de Nash, porém nem sempre isso ocorre.

#### **4.1.2.3 Definição de equilíbrio**

O equilíbrio de Nash é um conjunto de estratégias (ou ações) no qual cada jogador estará buscando agir para obter o melhor payoff, dada a atuação do oponente. Assim, inferindo sobre a provável ação do seu oponente, e considerando que essa inferência está correta, o jogador toma a sua decisão. No entanto, o jogador não considera que a sua decisão irá influenciar a decisão de seu oponente, ou seja, esse pressupõe que as ações estratégicas do oponente são independentes de sua escolha. Sendo a estratégia adotada a sua melhor resposta à ação de seu oponente, nenhum jogador possui qualquer estímulo para desviar unilateralmente de sua estratégia de Nash, o que torna o equilíbrio de Nash estável, podendo ser também interpretada como uma norma social estável (OSBORNE, 2004).

A diferença entre o conceito de estratégia dominante e o equilíbrio de Nash pode ser entendida considerando-se que a primeira refere-se ao caso em que cada jogador faz o melhor que pode, independentemente do que o outro esteja fazendo. Já no segundo, pressupõe-se que cada jogador faz o melhor que pode em função do que o outro estiver fazendo. Assim, pode-se observar que o equilíbrio em estratégia dominante é um caso especial do equilíbrio de Nash.

Um jogo pode conter apenas um equilíbrio de Nash, nenhum, ou vários. Nos jogos que possuem mais de um equilíbrio de Nash, no entanto, um deles pode ser mais desejável pelos jogadores, e identificado como equilíbrio focal (OSBORNE, 2004).

Segundo Osborne (2004), evidências empíricas mostram que, considerando o modelo aplicado de um jogo qualquer, se houver diferenças entre o resultado encontrado e o equilíbrio de Nash predito, é porque houve falha por parte de um ou de ambos os tomadores de decisão de um jogo. Isso pode ocorrer em situações em que se verifica falha na inferência sobre a ação do outro jogador, ou ainda, quando essa inferência não é verdadeira, ou seja, o jogador não conhece perfeitamente as preferências do outro.

Diversos tipos de jogos já foram identificados e classificados na literatura (alguns deles serão exemplificados adiante), onde em cada um deles o resultado/equilíbrio segue um determinado padrão. O que a análise desses diferentes tipos permite inferir é que, em alguns deles, a cooperação entre os jogadores leva a um resultado preferível, se comparado à situação onde cada um deles age por interesse próprio e joga sua estratégia dominante.

Segundo Ferreira e Braga (2003), mesmo no caso de jogos não-cooperativos, a possibilidade dos jogadores cooperarem aumenta se o jogo se estender indefinidamente no tempo. A cooperação entre os jogadores pode levar a um resultado mais vantajoso para ambos, em relação ao esperado se eles utilizarem suas estratégias dominantes. O jogo com duração definida, no entanto, não apresenta essa possibilidade de cooperação, tendendo a forçar a aplicação da estratégia dominante por parte dos jogadores. Isso ocorre porque, uma vez marcado o final do jogo para depois de  $n$  rodadas, nenhum dos jogadores terá incentivo para cooperar na rodada  $n$ . Não havendo interesse de cooperação na última rodada, também não haverá interesse em cooperar na penúltima rodada, e assim regressivamente até a rodada inicial. Dessa forma, a estratégia da não-cooperação se transforma em estratégia dominante.

#### **4.1.2.4 Equilíbrio que caracteriza o dilema dos prisioneiros**

Jogos do tipo do dilema dos prisioneiros - um exemplo clássico da Teoria dos Jogos-, também conduzem à discussão da questão da cooperação entre os participantes e podem ser úteis para interpretar porque é necessária a participação do setor público na economia. O mercado, nesse caso, não é suficiente para indicar qual a solução ótima, de forma que ninguém tenha uma alternativa melhor.

Um exemplo do dilema dos prisioneiros é apresentado na Figura 14, na forma de uma matriz 2x2 de payoffs, visando ilustrar como se identificam ações e resultados de maneira esquemática. As duas linhas correspondem às duas possíveis ações do jogador 1, enquanto as duas colunas representam as ações do jogador 2.

O primeiro valor de cada célula representa um possível payoff do prisioneiro 1, enquanto o segundo valor indica o payoff esperado para o prisioneiro 2. Ambos os jogadores – no caso, os prisioneiros 1 e 2 - são suspeitos de cometer um crime, e estão mantidos em celas separadas. Se ambos confessarem o crime, serão condenados a 5 anos de prisão. Se somente um confessa, esse será solto e o outro é condenado a 10 anos de prisão. Se ambos não confessam, ficarão 2 anos na prisão. Para identificar a estratégia dominante para cada jogador, avaliam-se os quatro possíveis resultados para cada um deles. Deve-se recordar que uma estratégia é dita *estritamente dominante* se é considerada superior para um jogador, independentemente do que possa fazer seu oponente.

Pode-se inferir, portanto, que a estratégia dominante para ambos é confessar, uma vez que a essa estão associados os melhores resultados para cada um, independente da ação do segundo.

Mais especificamente, verifica-se que nenhum ano de prisão (caso em que um dos dois prisioneiros escolhe confessar e outro não confessa) é melhor que 2 anos de prisão (se ambos escolhem não confessar), e 5 anos de prisão (se ambos confessam, pressupondo que o outro irá confessar) é melhor que 10 anos de prisão (se o primeiro não confessar e o segundo confessar). Constata-se, portanto, que confessar é a melhor escolha, quando essa é tomada de forma independente da escolha do outro jogador, e com base no interesse próprio de cada jogador.

Assim, o equilíbrio de Nash, considerando ações não-cooperativas, é ambos confessarem – representado da forma (Confessa, Confessa) - e ficarem 5 anos na prisão. No entanto, se os jogadores pudessem estabelecer contato e cooperar entre si, poderiam não confessar o crime, jogando sua estratégia não dominante, e ambos obteriam apenas 2 anos de prisão. Essa situação (Não Confessa, Não Confessa) é identificada como Pareto ótimo, ou seja, uma referência a partir da qual nenhum jogador pode obter melhor resultado, sem que o resultado obtido pelo segundo seja considerado pior.

		Prisioneiro 2	
		Não Confessa	Confessa
Prisioneiro 1	Não Confessa	-2, -2	-10, 0
	Confessa	0, -10	-5, -5

Figura 14 - Matriz de payoffs representando o dilema dos prisioneiros

Como se pode perceber, nesse tipo de jogo todos os jogadores obtêm ganhos maiores quando optam por ações cooperativas. No entanto, pressupondo que as decisões são tomadas para defender interesses individuais, e não coletivos, os ganhos mais elevados não são alcançados. Ou seja, todos os jogadores estariam em melhor situação se jogassem sua estratégia não dominante, mas tendem a jogar sua estratégia dominante, baseando-se em interesses individuais. Jogos desse tipo introduzem um dilema, dado que impõem um conflito entre o individualismo e a eficiência social, e por isso são também chamados de armadilhas sociais.

Em situações desse tipo, onde o equilíbrio de Nash em estratégias dominantes não é o melhor para nenhum dos jogadores, todos estariam melhor se um agente isento, que visa defender o bem estar geral, no caso o governo, os proibisse de escolher as respectivas estratégias dominantes. Para os cientistas políticos, essa é uma das razões da existência do governo; ou seja, para induzir um resultado melhor para a sociedade como um todo, quando indivíduos por si só não são capazes de alcançá-lo seguindo suas decisões isoladamente.

Os chamados bens públicos, que se tornam disponíveis a todos os indivíduos, uma vez disponibilizados a pelo menos um indivíduo, permitem ilustrar esse dilema, necessitando de regulação por parte do governo. Nessa situação, a atuação do governo proporciona melhores resultados.

O caso enfocado no presente trabalho, da prevenção contra doenças - como ações de vacinação dos animais, práticas de controle sanitário, dentre outros - pode ser considerado um exemplo de bem público, uma vez que a proteção indireta gerada pelas ações de prevenção pode ser apropriada por todos os indivíduos, até mesmo por aqueles que não a receberam. Nesse caso, não importa se é o governo que induz tal situação, ou se essa resulta da própria natureza do bem.

A existência de bens públicos, no entanto, incentiva a atuação dos chamados "*free riders*" ou caronas, identificados como indivíduos que consomem um determinado bem, ou se beneficiam de uma externalidade gerada por um bem, sem arcar com os custos de sua produção.

No problema analisado no presente trabalho, os *free-riders* podem ser identificados como os produtores que decidem não tomar ações preventivas, mas se beneficiam indiretamente das ações tomadas pelos outros produtores ou pelo governo.

Outros tipos de jogos identificados na literatura, com diferentes tipos de resultado e análise, e utilizados como modelo para a aplicação em diversas situações, são a chamada Batalha dos Sexos (BoS), *Matching pennies*, jogos de soma zero, jogos coordenados, jogos estritamente competitivos, e jogos sem conflito (OSBORNE, 2004). Analisando a matriz de *payoffs* definida a partir do jogo proposto no presente trabalho pode-se verificar a qual desses tipos o problema analisado está relacionado.

Será definido na seção seguinte o jogo teórico que prediz as estratégias referentes à prevenção contra doenças em animais, utilizando-se os conceitos discutidos nesta sessão. Alguns destes conceitos, como o tipo de jogo a que se referem, os possíveis equilíbrios, e as possíveis estratégias utilizadas, serão utilizados somente nos resultados, na aplicação empírica do modelo teórico.

## **4.2 Definição de jogo para uma análise generalizada**

Para a análise conduzida neste trabalho, os jogos foram definidos tomando-se como base os conceitos teóricos identificados como mais coerentes com a situação enfocada. Além disso, considerou-se relevante diferenciar situações em que o governo atua de forma a interferir nos resultados (Cenário 2) e outras em que essa intervenção não é introduzida para a análise (Cenário 1).

### **4.2.1 Cenário1: jogo sem a intervenção do governo**

A modelagem do jogo estratégico teve como base outros modelos aplicados para análises com objetivos semelhantes. Um desses é apresentado por Mattoo (1996), aplicado à questão da exigência de padrões para produtos/serviços entre países, e outro por Rich et al. (2005), que desenvolveram um modelo espacial de jogo em que dois produtores vizinhos de gado bovino decidem entre adotar níveis de esforço elevados ou baixos para o controle da febre aftosa.

Na definição de um modelo básico, supõe-se, para efeito de simplificação, a existência de apenas 2 produtores (Produtores 1 e 2) localizados geograficamente próximos, representando dois jogadores.

O jogo segue três estágios<sup>15</sup>:

(i) No primeiro, os produtores decidem se tomam ou não ações voluntárias de prevenção. De maneira analítica, os produtores decidem se adotam as ações voluntárias de prevenção contra uma determinada doença (representada pela estratégia A) ou não adotam (estratégia B);

(ii) No segundo estágio, os produtores decidem de maneira não cooperativa quantos animais produzir, maximizando sua função de lucro; e

(iii) No terceiro estágio do jogo, a “natureza joga”, de maneira que o surto da doença ocorre (representada pela situação S) ou não ocorre (representada por N), atribuindo-se probabilidades a essas ocorrências. Assim, pressupõe-se que um animal pode ou não contrair a doença segundo as probabilidades definidas de acordo com a situação em relação à prevenção (ou seja, se as medidas foram ou não adotadas).

O resultado do jogo, ou seja, o *payoff* recebido por cada jogador, depende da sua escolha e da estratégia do seu oponente, seguindo o princípio da interdependência estratégica. No caso aqui descrito, de prevenção contra doenças, a facilidade de disseminação dos agentes causadores da enfermidade (vírus, bactérias, etc.) faz com que as ações de prevenção tomadas por um produtor influenciem os *payoffs* e conseqüentemente as ações tomadas por seus vizinhos.

Assim, a decisão tomada por cada produtor entre (A) ou (B), deverá ser baseada na expectativa de ganho e/ou perda econômicos que esse agente incorrerá diante de cada possível escolha, dada a provável decisão de seu concorrente e as condições da natureza quanto à probabilidade de ocorrência do surto de uma determinada doença (S) ou desse não ocorrer (N).

De maneira geral, as decisões quanto a adotar ou não as práticas de prevenção voluntárias dependem da análise dos custos e benefícios que as mesmas representam para o produtor, e das probabilidades dos animais contraírem a doença diante das duas possíveis situações: com e sem prevenção.

Como um primeiro cenário, considera-se que o governo não intervém (instituinto multa ou indenização) para estimular as medidas de prevenção. O objetivo é determinar o equilíbrio do jogo, sem a intervenção do setor público, para inferir se sua atuação é necessária para que os produtores adotem tais medidas.

---

<sup>15</sup> Cada estágio representa um tipo de ação/movimento por parte dos jogadores. Pode haver estágios em que todos os jogadores jogam e estágios onde somente um deles joga. Essa pressuposição, de que existem três estágios, é específica para este jogo; não necessariamente todos os jogos possuem três estágios.

Os estágios um e três do jogo proposto (onde no primeiro o produtor decide se adota, ou não, as medidas preventivas; e no terceiro, a “natureza decide” se os animais contraem ou não a doença), podem ser representados esquematicamente como mostrado na Figura 15<sup>16</sup>, onde:

$d_{ij}$  = probabilidade do animal do produtor  $i$  adquirir a doença em cada situação  $j$  possível, para  $i = 1, 2$ ;  $j = 1, 2, 3, 4$  ( $j = 1$  se ambos adotam a prevenção,  $j = 2$  se apenas o produtor 1 previne;  $j = 3$  se apenas o produtor 2 previne; e  $j = 4$  se ambos não previnem);

$Y_{ij}$  = *payoff* do produtor  $i$  em cada situação  $j$  possível, sendo que como resultado final a doença pode ocorrer (*payoff* de  $Y_{ij}^*$ ) ou não (*payoff* de  $Y_{ij}$ ), segundo as probabilidades  $d_{ij}$  atribuídas para cada situação  $j$ .

Deve-se observar que o segundo estágio do jogo foi suprimido da representação na Figura 15, para facilitar a visualização do jogo, e tendo em vista que neste estágio os produtores apenas decidem a quantidade produzida que maximiza seu lucro.

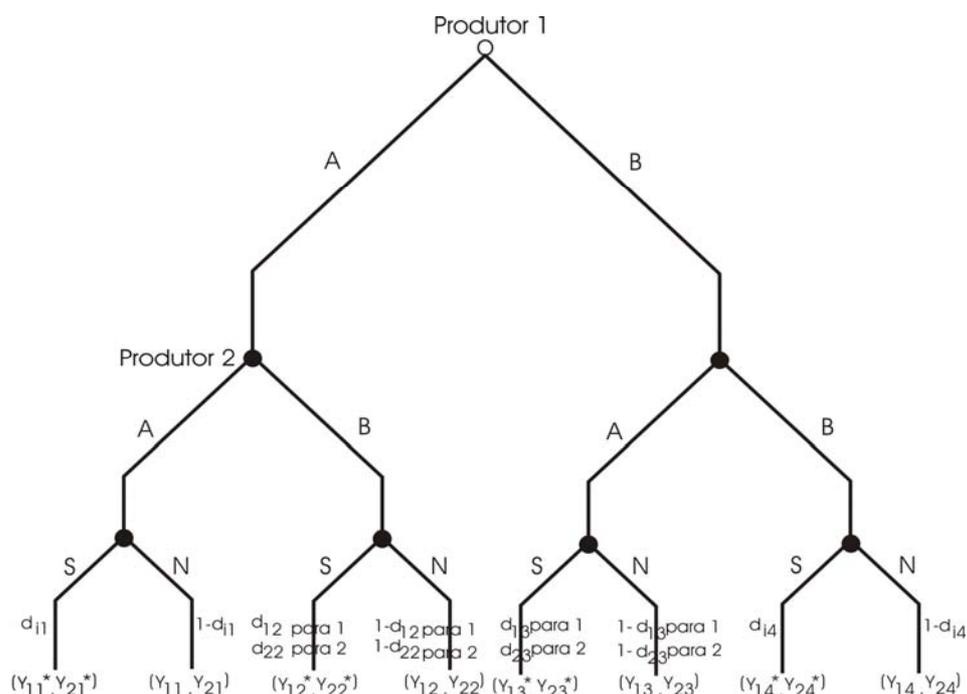


Figura 15 - Estrutura do jogo entre dois produtores na forma extensiva, em que suas decisões são tomar ou não ações preventivas contra doenças em animais

<sup>16</sup> Representou-se o jogo na forma extensiva para que se possa visualizar todos os estágios. Na verdade, a decisão sobre adotar ou não as medidas preventivas é tomada simultaneamente pelos dois produtores, bem como a decisão sobre quanto produzir. Não há uma forma mais clara de se apresentar jogos extensivos com movimentos simultâneos, quando a simultaneidade ocorre no início do jogo (OSBORNE, 2004).

Como modelado a princípio, trata-se de um jogo extensivo com movimentos simultâneos, ou seja, os produtores tomam decisões ao mesmo tempo, porém existem diversos estágios no jogo. Além disso, o jogo é não-cooperativo, com informação completa (os jogadores conhecem a função de *payoff* esperada em cada situação  $j = 1$  a 4, e inclusive a do seu concorrente), porém com informação imperfeita (o produtor não tem certeza quanto à ação do seu concorrente). A cada ação associa-se uma probabilidade (representada no último estágio do jogo, em que a doença pode ou não ocorrer).

A influência da decisão de um produtor sobre o *payoff* do outro se dá através dos parâmetros de probabilidade, ou seja, quando um deles decide adotar as medidas preventivas, a probabilidade do rebanho do seu oponente contrair a doença será menor, independente deste também adotar ou não tais medidas, o que interfere no seu *payoff*.

O resultado do jogo na forma extensiva é encontrado por *indução retroativa*<sup>17</sup>, sendo a decisão dos produtores em adotar ou não as ações de prevenção (primeiro estágio) tomada com base nos lucros antecipados dos estágios seguintes. Ou seja, para cada estratégia adotada pelo produtor 1, o produtor 2 escolhe a sua estratégia. Supondo que a informação é completa, o produtor 1 conhece os possíveis *payoffs* do produtor 2 para cada uma de suas estratégias. Tendo avaliado a escolha de 2, o produtor 1 toma essa como dada para decidir qual será a sua estratégia, ou seja, busca identificar e adotar aquela que lhe confere o maior *payoff*.

Simplificando o jogo extensivo delineado no Cenário 1, considerando que os produtores antecipam a expectativa de *payoff* para o primeiro estágio de decisão, tem-se o jogo na forma estratégica:

*Jogadores (i)*: produtores 1 e 2.

*Ações*: adotar (A) ou não adotar (B) as ações de prevenção;

*Preferências ( $\pi_{ij}$ )*: representadas pelas funções de *payoff* dos produtores  $i$  em cada situação  $j$  possível, ou seja,  $\pi_{ij}(p, C_{ij}, d_{ij})$ , para  $i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4$  ( $j = 1$  se ambos adotam a prevenção,  $j = 2$  se apenas o produtor 1 previne;  $j = 3$  se apenas o produtor 2 previne; e  $j = 4$  se ambos não previnem).

onde:

---

<sup>17</sup> Nem sempre é possível encontrar o provável resultado do jogo através da indução retroativa. Em jogos infinitos, por exemplo, não é possível aplicá-la, bem como em jogos onde algum jogador é indiferente entre mais de um resultado. Num jogo simultâneo também não é possível utilizá-la.

$p$  = preço recebido pelo gado – assumindo-se inicialmente que este é o mesmo para os produtores 1 e 2, independente desses adotarem ou não ações de prevenção, e que é exógeno;

$C_{ij}$  = custos de produção do rebanho, custo de prevenção, e despesas de descontaminação em relação à doença se esta é adquirida, os quais também são exógenos;

$d_{ij}$  = probabilidade de o animal adquirir a doença.

Considerando-se que o ganho e/ou perda de cada produtor depende das probabilidades dos animais contraírem a doença, trabalha-se com a Esperança dos *payoffs*.

O *payoff* de um produtor individual é dado pela diferença entre a Esperança de suas receitas e seus custos, incluindo aqui as despesas com a prevenção da doença e os custos de controle e/ou descontaminação em relação à mesma, se adquirida (custo de sacrifício ou recuperação dos animais doentes, e de controle sanitário na região afetada, dentre outras<sup>18</sup>).

Além disso, pressupõe-se, conforme discutido nos itens 3.3 e 3.4 da revisão bibliográfica, que os países importadores irão estabelecer barreiras sanitárias à carne de um país afetado pelo surto, suspendendo suas compras da região afetada ou de todo o território, até mesmo de outros produtores cujos rebanhos não foram infectados. Isso terá impacto no preço recebido pelo produtor cujo rebanho não se identifica a doença, caso o rebanho de outro produtor da mesma região seja infectado.

Por outro lado, de acordo com o discutido por Bauch e Earn (2004), deve-se levar em conta a externalidade positiva gerada por medidas de prevenção, que é uma proteção indireta aos indivíduos que não passaram por tais procedimentos. Essa proteção indireta, no entanto, acaba por desestimular a prática da prevenção por parte de todos os produtores. Sendo assim, se um produtor percebe que seu rebanho pode receber a proteção indireta contra doenças através das medidas tomadas pelos produtores vizinhos, ele não tem incentivo para tomar as ações de prevenção.

Vale lembrar que as medidas de prevenção contra doenças em animais serão mais efetivas quanto maior o número de produtores que as adotam, ou seja, menor será a probabilidade de ocorrer um surto da doença.

---

<sup>18</sup> As medidas de descontaminação dependem da doença em questão. Para algumas delas, como a febre aftosa, a medida geralmente adotada é o sacrifício de todos os animais do rebanho afetado, tanto os doentes quanto os suspeitos e os que entraram em contato com os infectados.

Considerando as estratégias a serem tomadas quanto à prevenção (A ou B), os possíveis resultados do jogo são: (A,A), (A,B), (B,A), e (B,B), a serem definidos a seguir.

### 1. (A,A)<sup>19</sup> – Ambos os produtores adotam as práticas de prevenção

Existe uma probabilidade  $d_{11}$  para o produtor 1 de que seus animais venham a contrair a doença, e  $d_{12}$  para o produtor 2, mesmo que a prevenção tenha sido realizada por ambos<sup>20</sup>.

Nesse possível resultado, pressupõe-se que ambos incorrem em custos de prevenção, independente do surto da doença ocorrer ou não. Se esse não ocorrer para nenhum deles, suas vendas para o exterior não são prejudicadas (a não ser que algum país decida não importar animal e/ou carne de países que adotam medidas preventivas). Se ocorrer o surto, para pelo menos 1 produtor, ambos podem incorrer em prejuízos econômicos pelo fechamento dos mercados importadores de carne. Espera-se que o prejuízo seja maior para o produtor cujo rebanho é afetado, pois este terá que sacrificar os animais e tomar outras medidas para descontaminação da sua propriedade em relação à doença. O produtor que não teve problema com a doença pode vender seu animal, porém o preço pode ser diferente ao negociado no mercado antes do surto da doença<sup>21</sup>.

A possibilidade do produtor que não teve problemas com a doença vender seu produto no mercado doméstico é uma pressuposição do modelo, mas na prática pode nem sempre ocorrer, visto que em alguns casos, se o produtor estiver localizado dentro de um determinado raio do surto, seus animais também devem ser sacrificados.

A Esperança do *payoff*  $\pi_{ij}$  de cada produtor  $i$  pode ser calculada com base nas diferentes situações possíveis de  $j$ , considerando que a doença pode ocorrer com uma probabilidade  $d_{ij}$ , resultando num *payoff*  $Y_{ij}^*$ , ou não ocorrer com uma probabilidade  $(1 - d_{ij})$ , resultando num *payoff* de  $Y_{ij}$ .

<sup>19</sup> Um resultado representado na forma (X,Y) indica que o primeiro jogador decide pela ação X e o segundo pela ação Y.

<sup>20</sup> As pressuposições sobre as probabilidades  $d_{ij}$  serão esclarecidas adiante.

<sup>21</sup> Dependendo da natureza da doença, da expressividade do surto, do tipo de mercado em questão, e da inserção do país no mercado internacional de carnes, os preços recebidos pelos produtores cujo rebanho está sadio podem sofrer queda ou aumento. A redução pode ocorrer porque diversos países deixam de comprar a carne do país afetado, porém os preços podem aumentar porque houve quebra de oferta de carne em decorrência da doença.

Assim, as Esperanças dos *payoffs* para os produtores 1 e 2 quando ambos adotam medidas de prevenção são:  $\pi_{11} = d_{11}(Y_{11}^*) + (1 - d_{11})(Y_{11})$  e  $\pi_{21} = d_{21}(Y_{21}^*) + (1 - d_{21})(Y_{21})$ , respectivamente, onde:

$Y_{11}$  representa o *payoff* do produtor 1 quando ambos adotam as medidas preventivas e seu rebanho não contrai a doença;  $Y_{11}^*$  representada o *payoff* do produtor 1 quando ambos adotam as medidas e seu rebanho contrai a doença; e  $d_{11}$  é a probabilidade do rebanho de 1 contrair a doença na situação 1. Interpretação semelhante pode ser atribuída ao produtor 2, na forma de  $Y_{21}$ ,  $Y_{21}^*$ , e  $d_{21}$ .

## 2. (A,B) – Apenas o produtor 1 adota as práticas de prevenção:

Nesse caso, pressupõe-se que o produtor 1 tem uma probabilidade  $d_{12}$  de ter problemas com a doença e o produtor 2 tem uma probabilidade  $d_{22}$  de ter problemas. A probabilidade de ocorrer (ou não) a doença depende da decisão dos produtores em adotar ou não medidas preventivas. Essa dependência é expressa no *payoff*, considerando que  $d_{12} < d_{22}$ .

Apenas o produtor 1 incorre em custos de prevenção. Se ocorrer o surto da doença, seja para o produtor 1, seja para o produtor 2, ou para ambos, o mercado internacional de carnes se fecha para os dois produtores, mas apenas aquele que teve problemas com a doença perde seu rebanho, devido à necessidade de abate dos animais. O produtor que não teve problemas com a doença pode vender os animais, porém a um preço diferente do praticado anteriormente, como já mencionado no resultado anterior. Porém, se ambos não tiverem problemas com a doença, não há restrição para o comércio do animal, tanto no mercado interno quanto internacional. A Esperança dos *payoffs* de 1 e de 2 será, respectivamente:  $\pi_{12} = d_{12}(Y_{12}^*) + (1 - d_{12})(Y_{12})$  e  $\pi_{22} = d_{22}(Y_{22}^*) + (1 - d_{22})(Y_{22})$ .

## 3. (B,A) - Apenas o produtor 2 adota as práticas de prevenção:

Nesse caso, a situação anterior se inverte; ou seja, pressupõe-se que o produtor 1 tem uma probabilidade  $d_{13}$  de contaminação de seu gado, e o produtor 2 tem uma probabilidade  $d_{23}$  de infecção. Assim, somente o produtor 2 tem o custo com prevenção. Pressupõe-se que o restante da análise anterior também é válido, com o mercado internacional se fechando para ambos os produtores caso ocorra um surto e o produtor que sofreu diretamente o problema tendo que

sacrificar seus animais. A Esperança dos *payoffs* para os produtores 1 e 2 será dada, respectivamente, por:  $\pi_{13} = d_{13}(Y_{13}^*) + (1 - d_{13})(Y_{13})$  e  $\pi_{23} = d_{23}(Y_{23}^*) + (1 - d_{23})(Y_{23})$ .

#### 4. (B,B) - Ambos produtores não adotam as práticas de prevenção:

O produtor 1 possui uma probabilidade  $d_{14}$  de ter seu rebanho afetado pela doença, e o produtor 2, uma probabilidade  $d_{24}$ . Nenhum deles incorre em custos com prevenção. Nesse caso, se ocorre um surto da doença, o produtor que teve seu rebanho infectado terá de sacrificá-lo, e ambos incorrem com prejuízos com o fechamento do mercado externo. Porém, se o surto não ocorre, as exportações de carne não sofrem restrição pelos países importadores, a não ser que existam países que não importem animais e/ou carne de outros que não adotam medidas de prevenção. A Esperança dos *payoffs* de 1 e de 2 será calculada, respectivamente como:  $\pi_{14} = d_{14}(Y_{14}^*) + (1 - d_{14})(Y_{14})$  e  $\pi_{24} = d_{24}(Y_{24}^*) + (1 - d_{24})(Y_{24})$ .

A representação do jogo na forma estratégica, em uma matriz de *payoffs*, pode ser visualizada na Figura 16.

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$\pi_{11} = [d_{11}(Y_{11}^*) + (1 - d_{11})(Y_{11})]; \pi_{21} = [d_{21}(Y_{21}^*) + (1 - d_{21})(Y_{21})]$	$\pi_{12} = [d_{12}(Y_{12}^*) + (1 - d_{12})(Y_{12})]; \pi_{22} = [d_{22}(Y_{22}^*) + (1 - d_{22})(Y_{22})]$
	B	$\pi_{13} = [d_{13}(Y_{13}^*) + (1 - d_{13})(Y_{13})]; \pi_{23} = [d_{23}(Y_{23}^*) + (1 - d_{23})(Y_{23})]$	$\pi_{14} = [d_{14}(Y_{14}^*) + (1 - d_{14})(Y_{14})]; \pi_{24} = [d_{24}(Y_{24}^*) + (1 - d_{24})(Y_{24})]$

Figura 16 - Matriz de *payoffs* do jogo proposto

A matriz de *payoffs* permite analisar os diferentes equilíbrios possíveis para o jogo, ou ainda a existência de estratégia dominante para os jogadores. Além disso, permite analisar qual seria o equilíbrio se ambos usassem uma estratégia *Maximin*, possíveis desvios do equilíbrio, além de outras situações descritas por Osborne (2004).

O que se espera identificar através desse modelo aplicado a um determinado caso de doença em animais é se o seu resultado, ou equilíbrio, é equivalente ao de um jogo do tipo “dilema dos prisioneiros”, que é o esperado a princípio (conforme discutido anteriormente, o dilema surge entre adotar a prevenção e conseqüente redução da probabilidade de contaminação dos animais ou não incorrer em custos de prevenção). Nesse tipo de jogo, os jogadores obtêm ganhos maiores ao cooperarem – ao decidirem tomar medidas preventivas - mas têm incentivos

para não adotá-las, seguindo um comportamento “*free rider*”. Adotando a postura do *free rider*, os agentes buscam a maximização do benefício individual, e não do benefício coletivo, o que leva a um resultado menos favorável.

Para um produtor, uma situação individualmente ideal é aquela em que somente o seu vizinho adota as ações de prevenção, arcando sozinho com os custos do procedimento, enquanto ele recebe o benefício indireto do procedimento sem incorrer em gastos, na medida em que a probabilidade de seus animais serem infectados pela doença diminui.

A estrutura do jogo modelado acima pressupõe que as decisões e resultados são referentes a apenas um período no tempo. Geralmente, no entanto, na análise prática não existe limite de tempo pré-estabelecido para o jogo, o que permite que se estenda o jogo para uma situação desse tipo. Dessa forma, a cada período os jogadores podem rever suas estratégias decidindo se as mantêm ou não, e portanto o jogo pode ser modelado como infinitamente repetido.

Como já discutido na seção 4.1.2, a possibilidade de cooperação entre os participantes de um jogo tende a aumentar ao longo do tempo. Em essência, espera-se que os jogadores tendam a cooperar de maneira progressiva, na esperança de que essa situação induza uma maior cooperação no futuro (OSBORNE, 2004).

Outras extensões dos jogos que também merecem ser analisadas compreendem: uma generalização para muitos produtores; a suposição de que as decisões são sequenciais ao invés de simultâneas; a suposição de que os jogos apresentam informação perfeita e completa (e outro caso em que essa é imperfeita e incompleta).

É interessante avaliar, ainda, diferenças que podem ser obtidas nos *payoffs* mediante a suposição de que os consumidores dão preferência a um produto seguro e, portanto, pagam um prêmio para que o produtor adote ações de prevenção. Também serão analisadas as consequências para o equilíbrio de variações nos custos de prevenção, no risco percebido do animal contrair a doença, e no preço de venda do produto. Finalmente, explora-se o caso em que ao invés de dois produtores em um mercado competitivo, o jogo envolve dois duopolistas.

Deve-se ressaltar que o modelo desenvolvido possibilita a análise de risco através dos custos e benefícios econômicos do ponto de vista do produtor. A partir desses resultados são delineadas decisões quanto à prevenção contra doenças em animais, não considerando os custos sociais ou sobre outros setores decorrentes dos surtos de doenças, tais como o nível de emprego, arrecadação de impostos, turismo, setor de insumos, dentre outros, vinculados à cadeia produtiva.

#### 4.2.2 Cenário 2: jogo com a intervenção do governo

A hipótese assumida no presente trabalho é que o governo espera, a princípio, que todos os produtores adotem as ações de prevenção contra doenças, evitando os prejuízos causados por um surto da doença à Balança Comercial, bem como ao reconhecimento do país no exterior no que se refere à segurança/sanidade de seus produtos<sup>22</sup>.

Dessa forma, o governo insere-se como um *player*, tomador de decisão no “jogo” proposto, quando se considera que, como forma de estímulo às ações de prevenção, ele concede uma indenização  $I$  por animal ao produtor que teve que sacrificar seus animais doentes e suspeitos, somente se esse tiver como comprovar a prática da prevenção. Caso contrário, o produtor teria que arcar integralmente com os prejuízos para o seu rebanho, decorrentes de um surto da doença.

Uma outra forma de intervenção governamental pode ser simulada pela instituição de uma multa ( $M$ ) por animal ao produtor que não adota medidas de prevenção, e assumindo-se que o governo tem uma probabilidade ( $s$ ) de descobrir de fato se o produtor não adotou as medidas preventivas quando a doença não ocorre, sendo  $0 < s < 1$ . Parece plausível considerar que o controle do governo quanto à realização da prevenção pode não ser tão eficiente, dado que em alguns casos é baseado em testes realizados aleatoriamente nos animais.

Pressupõe-se que quando o produtor tem seu rebanho afetado pela doença, o governo tem a capacidade de realizar testes com o animal para saber se as ações de prevenção foram realizadas. Portanto se o produtor não praticou a prevenção, e seu rebanho contraiu a doença, o governo não concede a indenização e aplica a multa ao produtor.

Assim, na extensão do jogo com a introdução do governo, as preferências do produtor são representadas pela seguinte função de *payoff*:  $\pi_{ij}(p, C_{ij}, d_{ij}, I, s, M)$ , com a instituição da multa  $M$  e da indenização  $I$  por parte do governo. As variáveis sem subscrito indicam que o seu valor não se altera, independente do produtor adotar ou não medidas preventivas.

Vale mencionar que a aplicação da multa  $M$  e o esforço de fiscalização da adoção das medidas preventivas (a qual influencia a probabilidade  $s$ ) implicam em custos para o governo, os quais são considerados nulos no modelo, para efeito de simplificação.

---

<sup>22</sup> Considerando as áreas que não são reconhecidas pela OIE como livres de determinada doença sem a aplicação de medidas preventivas, visto que nas áreas reconhecidas como livres, onde a doença já foi erradicada, o governo não deve estimular a adoção da prevenção.

O resultado do jogo também pode ser encontrado por indução retroativa. Nesse contexto, pode-se considerar que a decisão do governo quanto ao valor da multa e indenização seja determinada pela antecipação da resposta dos produtores, e que a decisão dos produtores em tomar ou não as ações de prevenção, por sua vez, são baseadas nos lucros antecipados dos estágios posteriores a essa decisão.

#### 4.2.3 Definição dos *payoffs*

A estimativa do *payoff* recebido por cada produtor, em cada situação, é dada pela esperança do lucro líquido do produtor, ou seja, pela diferença entre as suas receitas e custos. Considera-se que tal estimativa é a base da tomada de decisão quanto a adotar ou não ações preventivas, ou seja, incorrer em custos com prevenção para evitar perdas potencialmente maiores, no caso de incidência da doença.

Pressupõe-se, a princípio, que os produtores são semelhantes quanto à estrutura de produção e, portanto, têm funções de lucro semelhantes.

Além disso, por estarem localizados numa mesma região e terem estrutura semelhante, pressupõe-se que as probabilidades de contaminação serão as mesmas para ambos se estes se encontram numa mesma situação em relação à prevenção.

A receita do produtor será resultante da venda do animal, tanto no cenário em que não há intervenção do governo, como no cenário em que ele pode intervir. Neste segundo cenário, o produtor que adotou as medidas preventivas, mas cujo rebanho contraiu a doença, recebe como receita a indenização provida pelo governo, visto que seus animais deverão ser sacrificados, e portanto não poderão ser comercializados. Os custos incorridos pelos produtores são explicitados separadamente, como aqueles resultantes da tomada de ações preventivas, da descontaminação da propriedade em caso de um surto, outros custos de produção, adicionado da multa aplicada pelo governo no Cenário 2.

De forma generalizada, a Esperança da função de lucro de ambos os produtores, a ser maximizada, será a seguinte no cenário sem a intervenção do governo:

$$\pi_{ij} = d_{ij}(-C_{ij}^*) + (1 - d_{ij})(P - C_{ij}) \quad (1)$$

onde:

$i = 1, 2$  (indicando os produtores que participam do jogo modelado);

$j = 1, 2, 3, 4$  ( $j = 1$  situação em que ambos produtores adotam a prevenção,  $j = 2$  se apenas o produtor 1 previne;  $j = 3$  se apenas o produtor 2 previne; e  $j = 4$  se ambos não previnem);

$d_{ij}$  = probabilidade do animal contrair a doença, dependendo de  $i$  e  $j$ ; pressupõe-se que se ambos adotarem a prevenção (situação para  $j = 1$ ), a probabilidade de contaminação de seus animais será menor que se apenas um deles vacinar ( $j = 2$  ou  $3$ ); e se ambos não adotarem a prevenção ( $j = 4$ ), a probabilidade de contaminação para ambos será maior do que nas outras 3 situações ( $j = 1, 2$  ou  $3$ ); além disso, no caso em que apenas um deles previne, aquele que adotou as medidas terá uma probabilidade de contaminação menor do que aquele que não preveniu. Ou seja:  $(d_{11} = d_{21}) < (d_{12} = d_{23}) < (d_{13} = d_{22}) < (d_{14} = d_{24})$ ;

Considerando que  $P$  = receita total da venda dos animais do rebanho, ou seja:

- $P = p \cdot q_{ij}$

onde:

$p$  = preço unitário exógeno recebido pela venda do animal;

$q_{ij}$  = quantidade total de animais no rebanho do produtor  $i$ , para cada possível situação  $j$  ( $i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4$ ).

$C_{ij}^*$  = custos de produção incorridos, em caso de incidência da doença, que incluem os custos de controle/descontaminação e de prevenção, dependendo de cada situação hipotética para  $i$  e  $j$ . Esses podem ser representados de forma desagregada, como:

- $C_{ij}^* = c_{pij} q_{ij} + c_{cij} q_{ij} + c_{oij} q_{ij} + c_{fi}$  (2)

onde:

$c_{pij}$  = custo unitário de prevenção, para evitar a incidência da doença, incorrido para  $i = 1$  e  $j = 1, 2$ ; e para  $i = 2$  e  $j = 1, 3$ ;

$c_{cij}$  = custo unitário de controle/descontaminação em relação à doença, uma vez adquirida; incorrido em todas as situações para  $i$  e  $j$ , na parcela da Esperança do lucro que considera a probabilidade da doença ocorrer;

$c_{oij}$  = outros custos de produção, representando custos variáveis, que não referentes à prevenção ou controle/descontaminação da doença, incorridos em todas as situações simuladas ( $i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4$ );

$c_{fij}$  = outros custos fixos de produção, incorridos em todas as situações simuladas ( $i = 1,2$ ;  $j = 1,2,3,4$ ).

$C_{ij}$  = custos de produção incorridos se a doença não ocorrer e, portanto, não inclui os custos de controle/descontaminação da doença. As outras parcelas do custo são iguais ao  $C_{ij}^*$ , sendo assim definido:

$$\bullet C_{ij} = c_{p_{ij}} q_{ij} + c_{o_{ij}} q_{ij} + c_{f_{ij}} \quad (3)$$

Ademais, para o cenário em que o governo pode intervir no mercado, pressupõe-se que o produtor recebe uma indenização  $I$  por animal se a doença ocorrer e ele tiver adotado as práticas preventivas. Porém, terá que pagar uma multa no valor de  $M$  por animal se não adotar as práticas, o que pode ser comprovado pelo governo com uma probabilidade  $s$  se a doença não ocorre, e com toda a certeza se a doença ocorrer, ou seja:

$$\bullet \pi_{ij} = d_{ij}(Iq_{ij} - C_{ij}^*) + (1 - d_{ij})(P - C_{ij}) \quad (4)$$

para  $i = 1, j = 1, 2$  e  $i = 2, j = 1, 3$ , situações em que o produtor  $i$  adota as práticas preventivas;

$$\bullet \pi_{ij} = d_{ij}(-C_{ij}^* - Mq_{ij}) + (1 - d_{ij})(P - C_{ij} - sMq_{ij}) \quad (5)$$

para  $i = 1, j = 3, 4$  e  $i = 2, j = 2, 4$ , situações em que o produtor  $i$  não adota as práticas preventivas.

Pressupõe-se, a princípio, que os dois produtores são os únicos em uma determinada região, e que o mercado de carnes em que se inserem é perfeitamente competitivo, de forma que nenhum deles isoladamente consegue influenciar os preços do produto. Nesse contexto, o preço  $p$  recebido pelo animal é considerado uma variável exógena, ou seja, um valor dado pelo mercado.

Assume-se uma pressuposição forte de que os preços não se alteram, independente da produção realizada por cada produtor, e se houve ou não problemas da doença na região. Ou seja, se um dos produtores decide não produzir, ou se teve que sacrificar seu rebanho em decorrência de um surto de doença, o mercado pode ser parcialmente suprido por produto de outra região ou através da importação e, portanto, o preço não é alterado, ou se alterado, esta mudança não é significativa<sup>23</sup>. Essa pressuposição será relaxada em um dos cenários simulados.

<sup>23</sup> Se o mercado fosse considerado duopolista, a quebra de oferta por parte de um produtor faz com que o outro produtor tenha todo o mercado para si, tornando-se um monopolista, de forma que os preços tendem a aumentar.

Para efeito de simplificação do modelo, considera-se que os custos de prevenção e controle da doença assumem valores fixos por unidade produzida (e.g. por animal), e os outros custos de produção têm uma parcela fixa e outra variável, em função de  $q_{ij}$ . Dessa forma, o custo marginal de prevenção e o custo marginal de controle/descontaminação da doença são constantes (considerando que custo total de prevenção =  $c_{pij} \cdot q_{ij}$  e custo total de controle =  $c_{cij} \cdot q_{ij}$ ). Apenas o custo marginal referente aos outros custos de produção é uma função de  $q_{ij}$  (considerando que outros custos de produção totais =  $c_{fij} + c_{oij} \cdot q_{ij}$  e que  $c_{oij} = f(q_{ij})$ ), e varia com a quantidade produzida.

ou seja:

$c_{pij} \cdot q_{ij}$  = custo de prevenção, considerado constante por animal produzido;

$c_{cij} \cdot q_{ij}$  = custo de controle/descontaminação, considerado constante por animal;

$c_{oij} = f(q_{ij}) \cdot q_{ij}$  = outros custos de produção, considerado como uma função da quantidade  $q_{ij}$ <sup>24</sup>.

O número de animais  $q_{ij}$  a ser produzido será determinado pela maximização de lucro pelo produtor. As decisões quanto aos volumes produzidos e quanto à prevenção de doenças são tomadas em estágios diferentes do jogo.

Mattoo (1996) utiliza essa mesma metodologia para a análise de decisão em um contexto em que apenas dois jogadores interagem no mercado, considerando que a inserção dos mesmos ocorre em um mercado oligopolista, ou duopolista. No caso do presente trabalho, no entanto, pressupõe-se que o mercado é competitivo pelas suas próprias características, ou seja, o setor produtor de animais para consumo humano geralmente é pulverizado, com muitos produtores e muitos compradores, de forma que agindo de maneira individual, cada produtor não consegue influenciar preços. Além disso, o estágio de maior interesse do jogo proposto não é a escolha da quantidade a ser produzida - que é a decisão principal nos outros trabalhos identificados -, mas sim a decisão quanto à prevenção de doenças<sup>25</sup>.

Segundo Osborne (2004, p. 55), as suposições acerca do tipo de mercado em que os jogadores estão inseridos dependem do contexto das pressuposições feitas para a economia. Para

---

<sup>24</sup> As pressuposições feitas implicam que, embora o custo total marginal assuma uma forma geral, ou seja, tende a diminuir, até atingir um valor mínimo, a partir de onde passa a aumentar, a maximização ocorre onde o custo marginal é linear e crescente.

<sup>25</sup> Para efeito de ilustração e comparação, em uma das extensões do modelo será considerada uma situação onde o mercado é duopolista.

ele, o mercado agrícola atacadista está mais próximo de um jogo do tipo Cournot, enquanto os mercados varejistas estão mais próximos do tipo Bertrand<sup>26</sup>.

Antes de maximizar a função de lucro, e sem a intervenção do governo, pode-se representar a matriz de *payoffs* para os dois produtores, conforme indicado na Figura 17.

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$d_{11}[q_{11}(-c_{o11}-c_{p11}-c_{e11})-c_{n1}]+(1-d_{11})[q_{11}(p-c_{o11}-c_{p11})-c_{n1}];$ $d_{21}[q_{21}(-c_{o21}-c_{p21}-c_{e21})-c_{n2}]+(1-d_{21})[q_{21}(p-c_{o21}-c_{p21})-c_{n2}]$	$d_{12}[q_{12}(-c_{o12}-c_{p12}-c_{e12})-c_{n2}]+(1-d_{12})[q_{12}(p-c_{o12}-c_{p12})-c_{n2}];$ $d_{22}[q_{22}(-c_{o22}-c_{p22}-c_{e22})-c_{n2}]+(1-d_{22})[q_{22}(p-c_{o22})-c_{n2}]$
	B	$d_{13}[q_{13}(-c_{o13}-c_{e13})-c_{n3}]+(1-d_{13})[q_{13}(p-c_{o13})-c_{n3}];$ $d_{23}[q_{23}(-c_{o23}-c_{p23}-c_{e23})-c_{n3}]+(1-d_{23})[q_{23}(p-c_{o23}-c_{p23})-c_{n3}]$	$d_{14}[q_{14}(-c_{o14}-c_{e14})-c_{n4}]+(1-d_{14})[q_{14}(p-c_{o14})-c_{n4}];$ $d_{24}[q_{24}(-c_{o24}-c_{p24}-c_{e24})-c_{n4}]+(1-d_{24})[q_{24}(p-c_{o24})-c_{n4}]$

Figura 17 - Matriz de *payoffs* do jogo sem a intervenção do governo (Cenário 1)

No cenário 2 pressupõe-se que o governo pode intervir no mercado através da instituição de uma indenização ( $I$ ) por animal aos produtores que adotaram as medidas preventivas mas tiveram seus animais contaminados, e de uma multa ( $M$ ), também por animal, aos produtores que não adotaram tais medidas, e assumindo-se que ele tem uma probabilidade ( $s$ ) de descobrir de fato se o produtor não preveniu a doença. A matriz de *payoffs* anterior à maximização de lucro pode ser representada conforme se visualiza na Figura 18.

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$d_{11}[q_{11}(I-c_{o11}-c_{p11}-c_{e11})-c_{n1}]+(1-d_{11})[q_{11}(p-c_{o11}-c_{p11})-c_{n1}];$ $d_{21}[q_{21}(I-c_{o21}-c_{p21}-c_{e21})-c_{n2}]+(1-d_{21})[q_{21}(p-c_{o21}-c_{p21})-c_{n2}]$	$d_{12}[q_{12}(I-c_{o12}-c_{p12}-c_{e12})-c_{n2}]+(1-d_{12})[q_{12}(p-c_{o12}-c_{p12})-c_{n2}];$ $d_{22}[q_{22}(-c_{o22}-c_{p22}-M)-c_{n2}]+(1-d_{22})[q_{22}(p-c_{o22}-sM)-c_{n2}]$
	B	$d_{13}[q_{13}(-c_{o13}-c_{e13}-M)-c_{n3}]+(1-d_{13})[q_{13}(p-c_{o13}-sM)-c_{n3}];$ $d_{23}[q_{23}(I-c_{o23}-c_{p23}-c_{e23})-c_{n3}]+(1-d_{23})[q_{23}(p-c_{o23}-c_{p23})-c_{n3}]$	$d_{14}[q_{14}(-c_{o14}-c_{e14}-M)-c_{n4}]+(1-d_{14})[q_{14}(p-c_{o14}-sM)-c_{n4}];$ $d_{24}[q_{24}(-c_{o24}-c_{p24}-M)-c_{n4}]+(1-d_{24})[q_{24}(p-c_{o24}-sM)-c_{n4}]$

Figura 18 - Matriz de *payoffs* do jogo com a intervenção do governo (Cenário 2)

Embora possa ser considerada uma pressuposição relativamente forte, considera-se para fins de simplificação da análise que os custos de prevenção, controle da doença e outros custos de produção para um determinado produtor são os mesmos em todas as situações consideradas na presente análise, com  $j = 1,2,3,4$ . Sob tal pressuposição, têm-se as seguintes igualdades:  $c_{p11} =$

<sup>26</sup> Num modelo de oligopólio do tipo Cournot, cada firma (ou jogador) decide estrategicamente a quantidade a ser produzida, com o preço de mercado sendo uma função da demanda por estes produtos. Já no modelo de oligopólio de Bertrand, as firmas decidem estrategicamente o preço de seu produto, e ajustam a quantidade a ser produzida com a demanda gerada por seu produto. Estes casos, no entanto, não se aplicam a este trabalho.

$C_{p12}, C_{p21} = C_{p23}; C_{ci1} = C_{ci2} = C_{ci3} = C_{ci4}; C_{oi1} = C_{oi2} = C_{oi3} = C_{oi4};$  e  $C_{fi1} = C_{fi2} = C_{fi3} = C_{fi4}$ , para  $i = 1, 2$ . No entanto, esses custos não são necessariamente iguais entre os produtores.

### 4.3 Dados utilizados na aplicação empírica do modelo

O modelo teórico desenvolvido no item anterior é aplicado a um caso de prevenção contra febre aftosa em gado bovino, com as decisões do produtor sendo a vacinação (ou não) dos animais contra a doença. Para tal, simulam-se alguns cenários quanto à possível incidência da doença, com e sem a vacinação, em um jogo entre dois produtores.

Considera-se ainda que a taxa de juros ou custo de oportunidade do capital é igual a zero. Essa pressuposição, no entanto, não prejudica a análise, uma vez que é baseada no fluxo líquido entre benefícios e custos atribuídos a cada situação quanto à vacinação, não se tratando, portanto, de uma análise intertemporal.

Considera-se ainda que a taxa de juros ou custo de oportunidade do capital é igual a zero. Essa pressuposição não prejudica a análise, uma vez que esta é baseada no fluxo líquido entre benefícios e custos atribuídos a cada situação quanto à vacinação, não se tratando, portanto, de uma análise intertemporal.

Os dados de custos de produção (incluindo o da vacina e sua aplicação) e preços do gado utilizados foram levantados junto ao CEPEA, que faz o levantamento e divulga tais dados em bases periódicas e regionais. São considerados os dados relativos a uma região representativa do Brasil na produção de bovinos. Os custos de produção considerados foram referentes ao levantamento realizado no mês de dezembro 2005 pelo CEPEA, e os preços da arroba do boi gordo foram referentes a setembro/05 - mês imediatamente anterior à ocorrência do surto de aftosa -, para o Estado do Mato Grosso do Sul.

Os custos de sacrifício dos animais doentes (uma *proxy* do custo de controle/descontaminação da doença) são calculados a partir do surto ocorrido em 2005 no Estado do Paraná, através do montante total gasto com o controle da doença e o número de animais sacrificados. Segundo dados da Agência Estadual de Notícias - AEN (2006), o governo estadual do Paraná liberou um montante de R\$ 786.200,00 para o sacrifício sanitário de 6.412 animais, o que representa aproximadamente R\$ 122,00/cabeça.

O valor da multa para o produtor que não vacinou é considerado de duas Unidades Fiscais de Referência de Mato Grosso do Sul - UFEMS por cabeça (equivalente a R\$ 22,60 em

novembro de 2005), mais o custo da vacina, que será aplicada pelo órgão de defesa sanitária estadual competente, mas custeada pelo produtor.

Para a estimativa do valor da indenização, considera-se o disposto na Lei 569/1948, a partir do qual o governo federal é responsável pelo pagamento de 50% do valor dos animais doentes abatidos. Porém, segundo comunicação pessoal com agente do Departamento de Saúde Animal do Ministério da Agricultura, no surto ocorrido no Mato Grosso do Sul em 2005, a Secretaria de Defesa Sanitária Estadual pagou os 50% restantes do valor de mercado do animal como indenização, totalizando 100% de seu preço. Portanto, considera-se que o governo indenizou os produtores integralmente pelo valor de mercado do animal como indenização.

Em relação à probabilidade dos animais contraírem a doença, não foi identificada na literatura uma referência para tal informação. Os trabalhos relacionados ao assunto avaliam o percentual de animais vacinados efetivamente protegidos, dependendo da qualidade da vacina e das condições técnicas de aplicação da mesma. No entanto, não há referência quanto à probabilidade dos animais contraírem a doença, o que deverá ser inferido a partir dos dados disponíveis, e simulado hipoteticamente para diversas possibilidades.

Os valores divulgados sobre a eficácia da vacinação variam de 85% a 99% de Expectativa de Proteção - EPP. Ou seja, vacinando-se 100% do rebanho, entre 85% e 99% dos animais estarão efetivamente protegidos contra a doença. Isso não significa, no entanto, que a chance desse rebanho contrair a doença é entre 15% e 1%, porque esses animais que não estão efetivamente protegidos recebem uma proteção indireta (externalidade positiva da vacina) dos animais efetivamente protegidos.

Assume-se, assim, que a probabilidade de contaminação é a mesma para qualquer animal de um determinado rebanho (como uma probabilidade média do rebanho), independente desse estar efetivamente protegido ou não, e será simulada hipoteticamente, onde diferentes valores são atribuídos.

## 5 RESULTADOS

Primeiramente são determinados os equilíbrios do jogo teórico para o cenário sem a intervenção do governo, bem como analisadas as alterações no equilíbrio devido a alterações nas variáveis consideradas nas pressuposições do modelo.

Em seguida, parte-se para a análise do cenário 2, que assume a intervenção do governo no mercado, através da instituição de multa e indenização.

A seguir, o modelo teórico é aplicado ao caso da febre aftosa em rebanhos bovinos, com a utilização de dados empíricos desse mercado. Com a utilização do modelo empírico, simulam-se alterações na estrutura e nas pressuposições do jogo, discutindo-se suas implicações.

### 5.1 Análise das estratégias e determinação do equilíbrio no cenário básico sem a intervenção do governo

Resolvendo o jogo através do procedimento de indução retroativa, parte-se do segundo estágio, em que o produtor decide a quantidade produzida que maximiza sua função de lucro.

Pressupõe-se que a parcela do custo referente aos custos variáveis de produção é uma função de  $q_{ij}$  (ou seja,  $c_{oij} = b \cdot q_{ij}$ ,  $b > 0$ ), de maneira que a função de custo total esperada é quadrática<sup>27</sup>.

Lembrando que o custo de controle/descontaminação ( $c_{cij}q_{ij}$ ) só será incorrido se a doença ocorrer (ou seja, para  $C_{ij}^*$ ), a função de custo total esperada pode assumir as seguintes formas:

$$C_{ij}^* = c_{p_{ij}}q_{ij} + c_{c_{ij}}q_{ij} + bq_{ij}^2 + c_{f_{ij}} \quad (6)$$

e

$$C_{ij} = c_{p_{ij}}q_{ij} + bq_{ij}^2 + c_{f_{ij}} \quad (7)$$

O custo marginal esperado, dessa forma, é linear e crescente, e sua derivada é positiva.

Maximizando a Esperança da função geral de lucro dada pela equação (1) definida anteriormente na sessão 4.2.3 (ou seja,  $\pi_{ij} = d_{ij}(-C_{ij}^*) + (1 - d_{ij})(P - C_{ij})$ ), considerando o preço do gado ( $p$ ) como dado<sup>28</sup>, tem-se como condição de primeira ordem:

<sup>27</sup> Assumiu-se uma função de custo quadrática para simplificação da análise, visto que o custo marginal é uma função linear de  $q_{ij}$ .

<sup>28</sup> Pressupõe-se que os preços dos insumos produtivos também são dados.

$$\frac{\partial \pi_{ij}}{\partial q_{ij}} = 0$$

$$-d_{ij} \left( \frac{\partial C_{ij}^*}{\partial q_{ij}} \right) + (1-d_{ij}) \frac{\partial P}{\partial q_{ij}} - (1-d_{ij}) \left( \frac{\partial C_{ij}}{\partial q_{ij}} \right) = 0 \quad (8)$$

Substituindo  $C_{ij}^*$ ,  $P$ , e  $C_{ij}$  pelas suas respectivas equações, tem-se:

$$-d_{ij}(c_{pij} + c_{cij} + 2bq_{ij}) + (1-d_{ij})p - (1-d_{ij})(c_{pij} + 2bq_{ij}) = 0$$

$$(1-d_{ij})p - d_{ij}c_{cij} - c_{pij} - 2bq_{ij} = 0 \quad (9)$$

A condição de segunda ordem exige que:

$$\frac{\partial^2 \pi_{ij}}{\partial q_{ij}^2} < 0$$

$$2b > 0 \quad (10)$$

Pressupõe-se que essas são satisfeitas, assumindo a forma de uma função de custo do tipo quadrática, onde o custo marginal ( $c_{pij} + d_{ij}c_{cij} + 2bq_i$ ) é linear e crescente, enquanto sua derivada é positiva.

A partir da condição de primeira ordem, pode-se identificar a quantidade  $q_{ij}^*$  que maximiza a Esperança da função de lucro do produtor, dados  $p$ ,  $d_{ij}$ ,  $c_{cij}$ ,  $c_{pij}$ :

$$q_{ij}^* = \frac{(1-d_{ij})p - d_{ij}c_{cij} - c_{pij}}{2b} \quad ; \quad i = 1,2 \text{ e } j = 1,2,3,4 \quad (11)$$

Para que  $q_{ij}^*$  seja maior que zero - a restrição de domínio da equação-, é necessário que:

- (i)  $(1-d_{ij})p \geq d_{ij}c_{cij} + c_{pij}$ ; (12)
- (ii)  $b$  não tenda ao infinito

Pressupondo que a condição dada por (12) é satisfeita e substituindo  $q_{ij}^*$  de máximo lucro na função de lucro geral, representada na equação (1) definida anteriormente, obtém-se:

$$\pi_{ij} = \frac{[(1-d_{ij})p - d_{ij}c_{cij} - c_{pij}]^2}{4b} - c_{fij} \quad (13)$$

Se a equação (12) não é satisfeita, ou seja, a quantidade  $q_{ij}$  ótima - que maximiza o lucro - assume um valor negativo, pressupõe-se que o produtor decide não produzir nenhum animal, e então incorrerá somente nos seus custos fixos. Sua função de lucro será então  $\pi_{ij} = -c_{fij}$ . Pode-se interpretar que, nesta situação, a Esperança de suas receitas não cobre nem os custos variáveis de produção, e por isso o produtor decide não entrar na atividade.

Maximizando-se as funções de lucro em cada situação hipotética para  $i = 1, 2$  e  $j = 1, 2, 3, 4$ , da matriz representada na Figura 17, lembrando que  $c_{p1j} = 0$  para  $j = 3, 4$  e  $c_{p2j} = 0$  pra  $j = 2, 4$ , tem-se a matriz de *payoffs* conforme representado na Figura 19<sup>29</sup>.

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$\{(1-d_{11})p-c_{p1}-d_{11}c_{e1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{(1-d_{21})p-c_{p2}-d_{21}c_{e2}]^2/4b\}-c_{f2}$	$\{(1-d_{12})p-c_{p1}-d_{12}c_{e1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{(1-d_{22})p-c_{p2}-d_{22}c_{e2}]^2/4b\}-c_{f2}$
	B	$\{(1-d_{13})p-d_{13}c_{e1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{(1-d_{23})p-c_{p2}-d_{23}c_{e2}]^2/4b\}-c_{f2}$	$\{(1-d_{14})p-d_{14}c_{e1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{(1-d_{24})p-d_{24}c_{e2}]^2/4b\}-c_{f2}$

Figura 19 - Matriz de *payoffs* do jogo sem a intervenção do governo, considerando que cada produtor maximiza seu lucro

Fonte: Resultados da pesquisa.

A partir da matriz de *payoffs*, deduz-se que existem quatro possíveis configurações de equilíbrio para este jogo, quais sejam: (A,A) – ambos adotam medidas preventivas; (A,B) – apenas o produtor 1 adota; (B,A) – apenas o produtor 2 adota; (B,B) – nenhum deles adota. As condições necessárias e suficientes para que cada uma dessas configurações seja um equilíbrio de Nash em estratégias puras<sup>30</sup> são:

$$\text{Se } \pi_{11} \geq \pi_{13} \text{ e } \pi_{21} \geq \pi_{22}, \text{ tem-se que (A,A) é um equilíbrio de Nash} \quad (14)$$

$$\text{Se } \pi_{12} \geq \pi_{14} \text{ e } \pi_{22} \geq \pi_{21}, \text{ tem-se que (A,B) é um equilíbrio de Nash} \quad (15)$$

$$\text{Se } \pi_{13} \geq \pi_{11} \text{ e } \pi_{23} \geq \pi_{24}, \text{ tem-se que (B,A) é um equilíbrio de Nash} \quad (16)$$

$$\text{Se } \pi_{14} \geq \pi_{12} \text{ e } \pi_{24} \geq \pi_{23}, \text{ tem-se que (B,B) é um equilíbrio de Nash} \quad (17)$$

<sup>29</sup> Como os custos de prevenção, controle/descontaminação e produção são os mesmos para determinado produtor nos diferentes cenários, estes podem ser simplificados para  $c_{pi}$ ,  $c_{ci}$ ,  $c_{oi}$ ,  $c_{fi}$ .

<sup>30</sup> Estratégias puras são definidas como um conjunto de ações específicas que um jogador poderá adotar em cada possível situação, num determinado jogo. Essas ações não podem ser aleatórias, nem compostas através de uma distribuição de probabilidade, como no caso das estratégias mistas.

Resolvendo as inequações (14) a (17), com base nos *payoffs* da matriz representada na Figura 19, para  $c_{pi}$ <sup>31</sup>, obtêm-se as seguintes condições para os possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras:

$$(A,A): c_{p1} \leq (d_{13} - d_{11}) (p+c_{c1}) \text{ e } c_{p2} \leq (d_{22} - d_{21}) (p+c_{c2}) \quad (18)$$

$$(A,B): c_{p1} \leq (d_{14} - d_{12}) (p+c_{c1}) \text{ e } c_{p2} \geq (d_{22} - d_{21}) (p+c_{c2}) \quad (19)$$

$$(B,A): c_{p1} \geq (d_{13} - d_{11}) (p+c_{c1}) \text{ e } c_{p2} \leq (d_{24} - d_{23}) (p+c_{c2}) \quad (20)$$

$$(B,B): c_{p1} \geq (d_{14} - d_{12}) (p+c_{c1}) \text{ e } c_{p2} \geq (d_{24} - d_{23}) (p+c_{c2}) \quad (21)$$

Os parâmetros envolvidos nesses equilíbrios são  $p$  (preço de venda dos animais),  $c_{ci}$  (custo de controle e descontaminação, uma vez que a doença ocorre), que são exógenos, e  $c_{pi}$ , que é o custo com medidas de prevenção contra a incidência da doença, o qual é tomado como base para a decisão dos produtores. Ou seja, dependendo do valor de  $c_{pi}$  eles decidem se incorrem nesse custo ou não, para dados  $p$ ,  $c_{ci}$ , e  $d_{ij}$ .

Relembrando as pressuposições feitas para  $d_{ij}$  (probabilidade do animal contrair a doença), de que:  $(d_{11} = d_{21}) < (d_{12} = d_{23}) < (d_{13} = d_{22}) < (d_{14} = d_{24})$ , e a partir das soluções encontradas nas inequações (18) a (21), verifica-se que existem duas configurações possíveis para os equilíbrios de Nash:

I. Se  $(d_{24}-d_{23}) > (d_{22}-d_{21})$  e simultaneamente  $(d_{14}-d_{12}) > (d_{13}-d_{11})$ ;

II. Se  $(d_{24}-d_{23}) < (d_{22}-d_{21})$  e simultaneamente  $(d_{14}-d_{12}) < (d_{13}-d_{11})$ .

Para o caso I, em que  $(d_{24}-d_{23}) > (d_{22}-d_{21})$  e  $(d_{14}-d_{12}) > (d_{13}-d_{11})$ , os possíveis equilíbrios de Nash são apresentados graficamente na Figura 20.

<sup>31</sup> Para efeito de simplificação, supõe-se que a equação (12) é satisfeita, ou seja,  $p(1-d_{ij}) \geq c_{pij} + d_{ij}c_{cij}$ , o que implica em  $q^* \geq 0$  e  $\pi \geq 0$ .

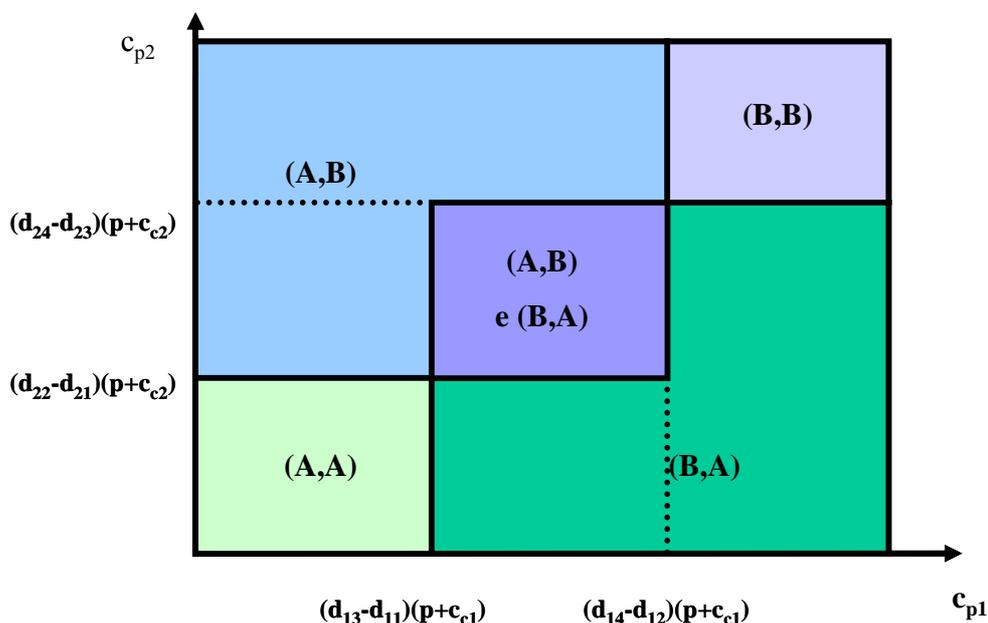


Figura 20 - Gráfico dos possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras, sem intervenção do governo, para  $(d_{24}-d_{23}) > (d_{22}-d_{21})$  e  $(d_{14}-d_{12}) > (d_{13}-d_{11})$

Fonte: Resultados da pesquisa.

Verifica-se que, quanto maior o custo de prevenção para os produtores 1 e 2 ( $c_{p1}$  e  $c_{p2}$ ), mantidas constantes as outras variáveis, o equilíbrio tende para uma situação em que nenhum produtor decide adotar medidas preventivas. Ao contrário, quanto menor o custo de prevenção para ambos, o equilíbrio tende para a situação onde ambos adotam as medidas. Esses dois resultados são relativamente intuitivos.

Assim, para garantir que o equilíbrio (A,A) ocorra, o custo de prevenção deve ser  $c_{pij} \leq \max [(d_{13}-d_{11})(p+c_{c1}), (d_{22}-d_{21})(p+c_{c2})]$ , considerando que este é o mesmo para ambos os produtores.

Se o custo de prevenção aumenta para o produtor 1, por exemplo, - equivalente a um deslocamento para a direita na Figura 20, a partir da região onde (A,A) é o equilíbrio-, mantendo-se relativamente baixo para produtor 2, o equilíbrio tende para a situação onde apenas esse último adota as medidas preventivas, e vice-versa.

Uma situação alternativa seria aquela em que o custo de prevenção do produtor 2 é um valor entre  $(d_{24}-d_{23})(p+c_{c2})$  e  $(d_{22}-d_{21})(p+c_{c2})$ , enquanto para o produtor 1, esse custo encontra-se entre  $(d_{14}-d_{12})(p+c_{c1})$  e  $(d_{13}-d_{11})(p+c_{c1})$ . Nesse caso, deduzido a partir das equações (18) a (21)

para o caso I, e apresentado a Figura 20, o jogo possui dois equilíbrios de Nash estáveis e igualmente prováveis, que são (A,B) e (B,A).

A demonstração de que estes equilíbrios existem, dadas as condições determinadas nas inequações (18) a (21), também é intuitiva.

Para a demonstração de que (A,A) é o único equilíbrio na respectiva região determinada na Figura 20, parte-se da função de lucro dos produtores da Figura 19. Verifica-se que quando o custo de prevenção é muito baixo, ou seja na vizinhança de  $c_{pij} = 0$ ,  $\pi_{11} > \pi_{12}$  e  $\pi_{21} > \pi_{22}$ , condição que configura o equilíbrio (A,A). Assim, se  $c_{pij}$  é suficientemente baixo, (A,A) será o único equilíbrio de Nash em estratégias dominantes para essa região.

Ao contrário, se  $c_{pij}$  é suficientemente elevado, (B,B) será o único equilíbrio de Nash em estratégias dominantes na respectiva região determinada na Figura 20, o que também pode ser verificado através da análise das funções de lucro. Se  $c_{pij}$  assume um valor extremamente elevado, verifica-se através da matriz de payoffs da Figura 19 que  $\pi_{14} > \pi_{12}$  e  $\pi_{24} > \pi_{23}$  (condição que configura o equilíbrio (B,B)).

Em relação à região onde (A,B) é o único equilíbrio, verifica-se através da matriz da Figura 19, que se  $c_{p1}$  é suficientemente baixo e  $c_{p2}$  é suficientemente elevado, configura-se  $\pi_{12} > \pi_{14}$  e  $\pi_{22} > \pi_{21}$ , que é a condição para o equilíbrio (A,B). O contrário deve ocorrer para o equilíbrio (B,A), ou seja, ocorre se  $c_{p1}$  é suficientemente elevado e  $c_{p2}$  é suficientemente baixo,  $\pi_{13} > \pi_{11}$  e  $\pi_{23} > \pi_{24}$ .

Para a área da Figura 20 onde tanto (A,B) como (B,A) são equilíbrios do jogo, o custo de prevenção deve ser um valor que compense para um deles adotar as medidas preventivas porque este incorre em ganhos líquidos com a redução da probabilidade de infecção pela doença; no entanto, para o outro produtor, não é compensador adotar as medidas preventivas, uma vez que a proteção indireta (externalidade positiva) proporcionada pela ação do outro jogador mostra-se suficiente para que ele decida não adotar, ou seja,  $\pi_{12} > \pi_{14}$  e  $\pi_{22} > \pi_{21}$  ou  $\pi_{13} > \pi_{11}$  e  $\pi_{23} > \pi_{24}$ . Ambos os equilíbrios, portanto, são estáveis, e nenhum dos dois produtores tem estímulo de desviar unilateralmente dele.

A demonstração de que tanto (A,B) como (B,A) são equilíbrios nessa área é apresentada a seguir.

Considerando-se um custo de prevenção  $c_{p1} = (d_{13}-d_{11})(p+c_{cl})+\delta_1$  para o produtor 1 - onde  $\delta_1$  é um valor positivo qualquer, relativamente pequeno, de maneira que  $c_{p1}$  se localize num

ponto à direita de  $(d_{13}-d_{11})(p+c_{c1})$  na Figura 20 -, e  $c_{p2} = (d_{22}-d_{21})(p+c_{c2})+\delta_2$  para o produtor 2, que, da mesma forma, corresponde a um ponto acima de  $(d_{22}-d_{21})(p+c_{c2})$  na Figura 20 -, tem-se um ponto que pertence à área dos equilíbrios simultâneos (A,B) e (B,A). Substituindo  $c_{p1}$  e  $c_{p2}$  na função de *payoff* dos jogadores (da Figura 19), obtém-se:

$$\pi_{11} = \{[(1-d_{13})p - (d_{13})c_{c1} - \delta_1]^2/4b\} - c_{f1}$$

$$\pi_{21} = \{[(1-d_{22})p - (d_{22})c_{c2} - \delta_2]^2/4b\} - c_{f2}$$

$$\pi_{12} = \{[(1-d_{12}-d_{13}+d_{11})p - (d_{12}+d_{13}-d_{11})c_{c1} - \delta_1]^2/4b\} - c_{f1}$$

$$\pi_{23} = \{[(1-d_{23}-d_{22}+d_{21})p - (d_{23}+d_{22}-d_{21})c_{c2} - \delta_2]^2/4b\} - c_{f2}$$

sendo que os outros *payoffs* ( $\pi_{13}, \pi_{14}, \pi_{22}, \pi_{24}$ ) não sofrem alteração por não dependerem dos custos de prevenção.

Considerando ainda que  $d_{14}-d_{12} > d_{13}-d_{11}$  (pelas pressuposições já feitas acerca de  $d_{ij}$  no caso I), ou seja,  $d_{14} > d_{12}+d_{13}-d_{11}$ ; e que  $d_{24}-d_{23} > d_{22}-d_{21}$ , ou seja,  $d_{24} > d_{23}+d_{22}-d_{21}$ ; e para  $\delta_1$  e  $\delta_2$  suficientemente pequenos, tem-se que:

$$\pi_{12} > \pi_{14} \text{ e } \pi_{22} > \pi_{21}, \text{ o que configura o equilíbrio (A,B)}$$

e

$$\pi_{13} > \pi_{11} \text{ e } \pi_{23} > \pi_{24}, \text{ o que configura o equilíbrio (B,A).}$$

O que demonstra serem ambos equilíbrios equiprováveis nessa área da Figura 20.

Já para o caso II, em que  $(d_{24}-d_{23}) < (d_{22}-d_{21})$  e simultaneamente  $(d_{14}-d_{12}) < (d_{13}-d_{11})$ , os possíveis equilíbrios são apresentados na Figura 21.

Também nessa situação, se o custo de prevenção for suficientemente pequeno, o equilíbrio tende para (A,A), e se for suficientemente grande, tende para (B,B). Para custos de prevenção entre  $(d_{24}-d_{23})(p+c_{c2})$  e  $(d_{22}-d_{21})(p+c_{c2})$  para o produtor 2, e entre  $(d_{14}-d_{12})(p+c_{c1})$  e  $(d_{13}-d_{11})(p+c_{c1})$  para o produtor 1, o jogo possui dois equilíbrios, que são (A,A) e (B,B).

Assim, para que o único equilíbrio do jogo seja (A,A), os custos de prevenção devem ser  $c_{p1j} \leq \max [(d_{14}-d_{12})(p+c_{c1}), (d_{24}-d_{23})(p+c_{c2})]$ .

No caso em que o custo de prevenção do produtor 1 é relativamente alto e do produtor 2 é relativamente baixo, o equilíbrio tende para (B,A); na situação contrária, ou seja, quando o custo de prevenção do produtor 2 é relativamente alto e do produtor 1 é relativamente baixo, o equilíbrio tende para (A,B).

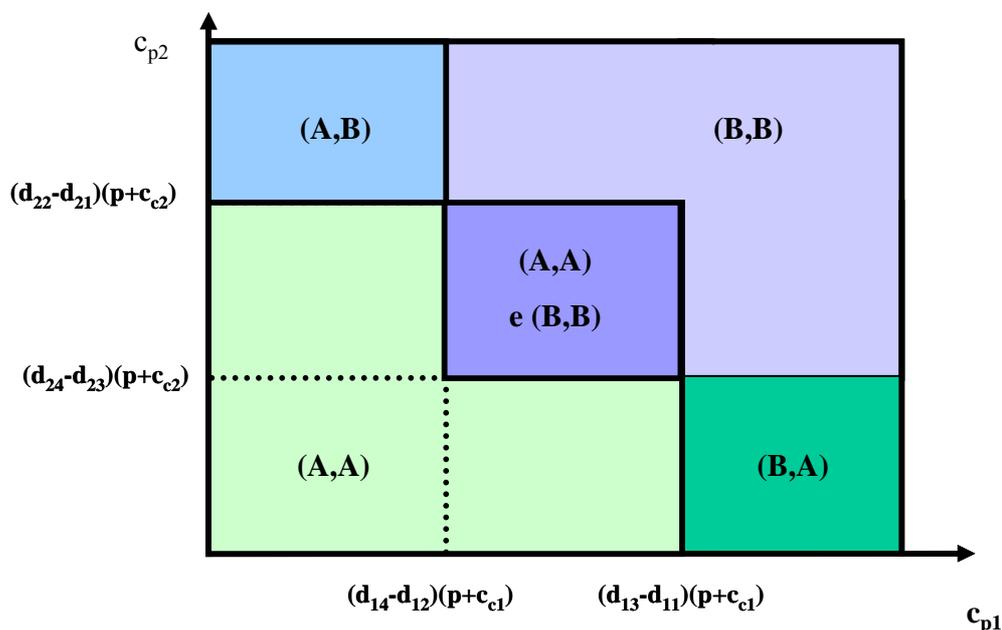


Figura 21 - Gráfico dos possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras, sem intervenção do governo, para  $(d_{24}-d_{23}) < (d_{22}-d_{21})$  e  $(d_{14}-d_{12}) < (d_{13}-d_{11})$

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nesse caso II, a demonstração de que os equilíbrios existem segue a mesma lógica desenvolvida para o caso I, para as regiões onde os equilíbrios únicos são  $(A,A)$ , ou  $(B,B)$ , ou  $(A,B)$  ou  $(B,A)$ .

Para a região onde o jogo possui dois equilíbrios estáveis -  $(A,A)$  e  $(B,B)$  -, a interpretação é que o custo de prevenção é um valor que compensa para ambos adotar as medidas porque incorrem em ganhos com a redução da probabilidade da doença ocorrer, sendo que nenhum deles é estimulado a se desviar individualmente desse equilíbrio porque a redução do custo de prevenção não é compensado pelo aumento da probabilidade do animal contrair a doença; alternativamente, pode-se ter como resultado que nenhum dos produtores as adota porque, se apenas um deles adota, não obtém um ganho suficiente com a redução da probabilidade da doença ocorrer que compense o aumento nos custos.

De maneira analítica, a demonstração de que esta região possui dois equilíbrios é a seguinte: considerando-se um custo de prevenção  $c_{p1} = (d_{14}-d_{12})(p+c_{c1})+\delta_1$  para o produtor 1 – onde como no caso I,  $\delta_1$  é um valor positivo qualquer, relativamente pequeno, de maneira que  $c_{p1}$  se localize num ponto à direita de  $(d_{14}-d_{12})(p+c_{c1})$  na Figura 21, e  $c_{p2} = (d_{24}-d_{23})(p+c_{c2})+\delta_2$  para o

produtor 2, que, da mesma forma, corresponde a um ponto acima de  $(d_{24}-d_{23})(p+c_{c2})$  na Figura 21, tem-se um ponto que pertence à área dos equilíbrios simultâneos (A,A) e (B,B).

Substituindo  $c_{p1}$  e  $c_{p2}$  na função de *payoff* dos jogadores (da Figura 19), tem-se:

$$\pi_{11} = \{[(1-d_{14}-d_{11}+d_{12})p - (d_{14}+d_{11}-d_{12})c_{c1} - \delta_1]^2/4b\} - c_{f1}$$

$$\pi_{21} = \{[(1-d_{24}-d_{21}+d_{23})p - (d_{24}+d_{21}-d_{23})c_{c2} - \delta_2]^2/4b\} - c_{f2}$$

$$\pi_{12} = \{[(1-d_{14})p - (-d_{14})c_{c1} - \delta_1]^2/4b\} - c_{f1}$$

$$\pi_{23} = \{[(1-d_{24})p - (-d_{24})c_{c2} - \delta_2]^2/4b\} - c_{f2}$$

sendo que os outros *payoffs* ( $\pi_{13}, \pi_{14}, \pi_{22}, \pi_{24}$ ) não sofrem alteração por não dependerem dos custos de prevenção.

Considerando ainda que  $d_{13} - d_{11} > d_{14} - d_{12}$  (pelas pressuposições já feitas acerca de  $d_{ij}$  no caso II), ou seja,  $d_{13} > d_{14} + d_{11} - d_{12}$ ; e que  $d_{22} - d_{21} > d_{24} - d_{23}$ , ou seja,  $d_{22} > d_{24} + d_{21} - d_{23}$ ; e para  $\delta_1$  e  $\delta_2$  suficientemente pequenos, tem-se que:

$$\pi_{11} > \pi_{13} \text{ e } \pi_{21} > \pi_{22}, \text{ o que configura o equilíbrio (A,A), e}$$

$$\pi_{14} > \pi_{12} \text{ e } \pi_{24} > \pi_{23}, \text{ o que configura o equilíbrio (B,B)}$$

e, portanto, ambos são equilíbrios equiprováveis nesta área da Figura 21.

Em relação às outras variáveis exógenas consideradas ( $p$  e  $c_{ci}$ ) para se determinar os possíveis equilíbrios, pode-se dizer, a partir das inequações (18) a (21), que quanto maior o preço recebido pelo animal, ou quanto maior o custo de controle/descontaminação da doença caso um surto venha a ocorrer (mantendo as outras variáveis constantes), maior pode ser o custo máximo de prevenção para que o equilíbrio do jogo seja (A,A). Uma análise semelhante pode ser realizada tomando como base a diferença entre a probabilidade do animal adquirir a doença, dado que as medidas preventivas foram ou não tomadas, ou seja, quanto maior essa diferença, maior pode ser o custo de prevenção máximo para que o equilíbrio seja (A,A). Em outras palavras, se as variáveis  $p$  e/ou  $c_{ci}$  aumentam, e/ou se as diferenças  $(d_{13}-d_{11})$  e  $(d_{22}-d_{21})$  no caso I, ou  $(d_{14}-d_{12})$  e  $(d_{24}-d_{23})$  no caso II aumentam, o jogo tem uma maior chance de ter (A,A) como equilíbrio. É o mesmo que dizer que as linhas que limitam as áreas do equilíbrio único (A,A) nas Figuras 20 e 21 deslocam-se para a direita e para cima.

A seguir são consideradas alterações na estrutura dos jogos e avaliadas possíveis alterações nos seus pontos de equilíbrio, como:

- a) pressuposição de que  $p$  é diferente nas diferentes situações consideradas quanto à prevenção;
- b) considerado-se alterações nos custos de controle da doença ( $c_{cij}$ ) e nos outros custos de produção ( $c_{oij}$ );
- c) pressuposição de que custo de prevenção  $c_{pij}$  é variável por animal;
- d) pressuposição de que o risco percebido do animal contrair a doença é menor que o risco real;
- e) considerando-se que o mercado é oligopolista ao invés de competitivo;
- f) quando a generalização do jogo para muitos produtores.

Outras extensões consideradas de interesse para o contexto analisado serão analisadas no modelo empírico, dado que facilitam e permitem uma melhor compreensão dos resultados.

### 5.1.1 Contexto em que $p$ é diferente nas diferentes situações quanto à prevenção

Esse item considera a possibilidade de relaxar a pressuposição de que os preços recebidos pelos animais serão os mesmos se o produtor adota as medidas preventivas ou deixa de adotar (com exceção para o caso em que o rebanho do produtor contrai a doença, onde ele não recebe nada pelo seu animal). Se, por exemplo, o consumidor dá preferência a um produto mais seguro, pagando um prêmio  $e$  sobre o preço para o produtor que adotou as medidas preventivas, os *payoffs* resultantes serão diferentes dos deduzidos até o presente.

Nesse caso, as possibilidades descritas nas inequações de (18) a (21) passam a incluir a probabilidade de o produtor receber um prêmio  $e$  sobre o preço do seu animal, o que representa um deslocamento da linha limite dos possíveis equilíbrios apresentados nas Figuras 20 e 21 para a direita e para cima, no valor de  $(1-d_{ij})e$ , para  $i=1, j=1,2$  e para  $i=2, j=1,3$ .

De maneira analítica, adicionando-se um valor de  $e$  ao preço ( $p$ ) quando o produtor adota as medidas preventivas, tem-se que as condições dadas nas inequações (18) a (21) passam a ser:

$$(A,A): c_{p1} \leq (d_{13} - d_{11}) (p+c_{c1}) + (1-d_{11})e; \text{ e } c_{p2} \leq (d_{22} - d_{21}) (p+c_{c2}) + (1-d_{21})e \quad (22)$$

$$(A,B): c_{p1} \leq (d_{14} - d_{12}) (p+c_{c1}) + (1-d_{12})e; \text{ e } c_{p2} \geq (d_{22} - d_{21}) (p+c_{c2}) + (1-d_{21})e \quad (23)$$

$$(B,A): c_{p1} \geq (d_{13} - d_{11}) (p+c_{c1}) + (1-d_{11})e; \text{ e } c_{p2} \leq (d_{24} - d_{23}) (p+c_{c2}) + (1-d_{23})e \quad (24)$$

$$(B,B): c_{p1} \geq (d_{14} - d_{12}) (p+c_{c1}) + (1-d_{12})e; \text{ e } c_{p2} \geq (d_{24} - d_{23}) (p+c_{c2}) + (1-d_{23})e \quad (25)$$

Com o deslocamento das linhas limite dos possíveis equilíbrios nas Figuras 20 e 21 para a direita e para cima (e considerando que os custos de prevenção  $c_{pi}$  são iguais para os dois produtores), amplia-se a área de possibilidade do equilíbrio (A,A) ocorrer. Isso é importante, pois indica que adoção de medidas preventivas é estimulada. Ou seja, aumenta a chance desse equilíbrio ocorrer em relação à situação onde não se diferencia o preço do animal que passou por medidas preventivas daquele que não passou. A explicação para isso é que o custo de prevenção pode ser maior para que o equilíbrio seja (A,A).

Em decorrência, a área de possibilidade do equilíbrio (B,B) ocorrer sofre redução com o deslocamento das linhas limite dos equilíbrios, o que também reforça a tendência de estímulo de adoção da prevenção.

Em relação à área onde existem dois equilíbrios equiprováveis, ocorre redução na Figura 20 (onde (A,B) e (B,A) são equilíbrios)<sup>32</sup>, porém aumento na Figura 21 (onde (A,A) e (B,B) são equilíbrios).

Já para as áreas onde (A,B) e (B,A) são equilíbrios únicos, ocorre aumento na Figura 20 e redução na Figura 21.

Uma situação inversa também pode ocorrer, ou seja, o consumidor pode dar preferência para a carne de um animal que não passou por medidas de prevenção contra doenças. Isso acontece no mercado de carne bovina, para o problema da febre aftosa, onde alguns países não aceitam importar carne de regiões que vacinam seus animais, como já discutido em capítulos anteriores. Nesse caso, o produtor que não adotar as medidas preventivas recebe um prêmio  $e$  sobre o preço do animal, e as condições para os possíveis equilíbrios de Nash das inequações (18) a (21) passam a ser:

---

<sup>32</sup> Verifica-se matematicamente que o deslocamento dado por  $(1-d_{11})e$  na primeira linha limite da Figura 17, partindo-se da origem, é maior que o deslocamento dado por  $(1-d_{12})e$  na segunda linha limite, bem como o deslocamento dado por  $(1-d_{21})e$  na primeira linha limite partindo da origem, é maior que o deslocamento dado por  $(1-d_{23})e$  na segunda linha limite, fazendo com que a área dos equilíbrios (A,B) e (B,A) reduzam. As outras análises foram realizadas dessa mesma forma.

$$(A,A): c_{p1} \leq (d_{13} - d_{11}) (p+c_{c1}) - (1-d_{13})e; \text{ e } c_{p2} \leq (d_{22} - d_{21}) (p+c_{c2}) - (1-d_{22})e \quad (26)$$

$$(A,B): c_{p1} \leq (d_{14} - d_{12}) (p+c_{c1}) - (1-d_{14})e; \text{ e } c_{p2} \geq (d_{22} - d_{21}) (p+c_{c2}) - (1-d_{22})e \quad (27)$$

$$(B,A): c_{p1} \geq (d_{13} - d_{11}) (p+c_{c1}) - (1-d_{13})e; \text{ e } c_{p2} \leq (d_{24} - d_{23}) (p+c_{c2}) - (1-d_{24})e \quad (28)$$

$$(B,B): c_{p1} \geq (d_{14} - d_{12}) (p+c_{c1}) - (1-d_{14})e; \text{ e } c_{p2} \geq (d_{24} - d_{23}) (p+c_{c2}) - (1-d_{24})e \quad (29)$$

Para este caso em que a não adoção da prevenção é preferível, a linhas dos equilíbrios apresentados nas Figuras 20 e 21 são deslocadas para a esquerda e para baixo, no valor de  $(l - d_{ij})e$ , para  $i=1, j=3,4$  e para  $i=2, j=2,4$ . Conseqüentemente, isso reduz a possibilidade do equilíbrio (A,A) ocorrer, ou seja, desestimula a adoção da prevenção.

De forma contrária, a possibilidade do equilíbrio (B,B) ocorrer aumenta, em ambas as Figuras, visto que houve um estímulo, na forma de um prêmio, para a não adoção da prevenção.

Para a área onde existem dois equilíbrios equiprováveis, esta aumenta na Figura 20 (onde (A,B) e (B,A) são equilíbrios), mas diminui na Figura 21 (onde (A,A) e (B,B) são equilíbrios). Para as áreas onde (A,B) e (B,A) são equilíbrios únicos ocorre o contrário, ou seja, redução na Figura 20 e aumento na Figura 21.

### 5.1.2 Variações nos custos de controle/descontaminação da doença ( $c_{cij}$ ) e nos outros custos de produção ( $c_{oij}$ e $c_{rij}$ )

Se o custo de controle/descontaminação da doença ( $c_{cij}$ ) aumenta, tanto para o produtor 1 como para o 2 – supondo que em valores semelhantes -, as linhas que representam o limite dos possíveis equilíbrios deslocam-se para a direita e para cima nas Figuras 20 e 21, aumentando a área de possibilidade do equilíbrio (A,A). Isso indica que um aumento no custo de controle/descontaminação da doença tende a estimular os produtores a praticarem medidas de prevenção. Já a área de possibilidade de ocorrência do equilíbrio (B,B), por sua vez, diminui.

Em relação à área onde dois equilíbrios são equiprováveis, ocorre aumento tanto na Figura 20 (onde (A,B) e (B,A) são situações de equilíbrio) como na Figura 21 (onde (A,A) e (B,B) são equilíbrios).

Já para a área onde (A,B) e (B,A) são equilíbrios únicos, ocorre aumento na Figura 20, porém redução na Figura 21.

Se a variação no custo de controle não for semelhante para os dois produtores, aquele que tem o seu custo de controle aumentado, ou incrementado em maior proporção, passa a ter maior

estímulo para adotar medidas de prevenção e, portanto, aumenta a probabilidade de que essa venha a ser adotada.

A conclusão acerca dessa discussão é que, com o aumento do custo de descontaminação da doença, uma vez adquirida, o governo pode deixar de ter que arcar com programa de estímulos à adoção de medidas de prevenção, ou pelo menos reduzir a intervenção.

Em relação aos outros custos de produção ( $c_{oij} = b.q_i$  e  $c_{fij}$ ), verifica-se que estes não exercem influência sobre as possibilidades de equilíbrio, uma vez que não têm relação direta com a decisão de adotar ou não as medidas preventivas.

### 5.1.3 Pressuposição de que o custo de prevenção $c_{pij}$ é variável, e não mais fixo por animal

Se o custo de prevenção  $c_{pij}$  não é mais fixo por cabeça, mas depende da quantidade  $q_i$  produzida (ou seja,  $c_{pij} = g.q_i$ ) – como reflexo de ganhos de escala na prevenção –, a matriz de payoffs da Figura 19 sofre alterações para as possíveis soluções AA (ambos produtores tomam medidas preventivas), AB (somente o produtor 1 toma medida preventiva) e BA (somente o produtor 2 toma medidas preventivas) (Figura 22)

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$\{(1-d_{11})p-d_{11}c_{e1}\}^2/4(b+g)-c_{p1};$ $\{(1-d_{21})p-d_{21}c_{e2}\}^2/4(b+g)-c_{p2}$	$\{(1-d_{12})p-d_{12}c_{e1}\}^2/4(b+g)-c_{p1};$ $\{(1-d_{22})p-d_{22}c_{e2}\}^2/4b-c_{p2}$
	B	$\{(1-d_{13})p-d_{13}c_{e1}\}^2/4b-c_{p1};$ $\{(1-d_{23})p-d_{23}c_{e2}\}^2/4(b+g)-c_{p2}$	$\{(1-d_{14})p-d_{14}c_{e1}\}^2/4b-c_{p1};$ $\{(1-d_{24})p-d_{24}c_{e2}\}^2/4b-c_{p2}$

Figura 22 - Matriz de payoffs com custo de prevenção variável

Fonte: Resultados da pesquisa.

Supondo que  $c_{pij}$  seja decrescente, ou seja,  $g < 0$ , e que  $b$  em módulo seja maior que  $g$  (dado que  $g$  é o coeficiente referente apenas ao custo de prevenção, e  $b$  é o coeficiente referente a todos os outros custos de produção, e portanto, mais significativos) percebe-se que, em relação à situação original, que pressupõe  $c_{pij}$  constante por animal, os *payoffs* dos jogadores deverão ser maiores em alguns casos, ou mais especificamente naqueles para os quais os produtores decidem adotar as medidas preventivas:  $\Pi_{11}$ ,  $\Pi_{12}$ ,  $\Pi_{21}$  e  $\Pi_{23}$ .

Visto que o lucro recebido pelos produtores é maior quando eles decidem adotar as medidas preventivas (seja essa decisão tomada por ambos ou por apenas um deles), ocorre um

estímulo à prevenção, e conseqüente aumento da chance do equilíbrio (A,A) ocorrer. De maneira contrária, ocorre redução da chance do equilíbrio (B,B) ocorrer.

Os gráficos da Figuras 20 e 21 possivelmente serão diferentes com a pressuposição de que  $c_{pij}$  não é mais uma variável constante, mas sim variável. Para que estes novos gráficos sejam compostos, no entanto, deve-se pressupor uma função para  $c_{pij}$ , análise esta que está além do objetivo desse trabalho.

#### **5.1.4 Considerando que o risco percebido do animal contrair a doença é menor que o risco real (ou verdadeiro)**

Num primeiro caso, considera-se que o risco percebido pelo produtor de um animal que não passou por medidas preventivas contrair a doença é menor que o risco real. Isso pode ser representado por meio de mudanças com relação à situação discutida no cenário básico, da seguinte natureza:

$$(d_{13}^* = d_{22}^*) < (d_{13} = d_{22}) \text{ e } (d_{14}^* = d_{24}^*) < (d_{14} = d_{24}),$$

onde  $d_{ij}^*$  representa o risco percebido.

Nesse caso, infere-se que as linhas que estabelecem os limites dos possíveis equilíbrios nas Figuras 20 e 21 podem sofrer um deslocamento para a esquerda e para baixo, reduzindo a área de possibilidade do equilíbrio (A,A) ocorrer, o que significa que os dois produtores ficam menos propensos a adotar medidas preventivas.

Verifica-se, ainda, que esse mesmo deslocamento das linhas e as conseqüentes mudanças nas áreas sinalizam possibilidade de aumento na chance do equilíbrio (B,B) ocorrer, reduzindo, portanto a probabilidade dos produtores adotarem medidas preventivas à doença de forma espontânea, ou seja, por estímulos econômicos e não por ações mandatórias.

Já as áreas demarcadas onde os equilíbrios (A,B) e (B,A) são únicos, bem como as áreas onde existem dois equilíbrios - (A,B) e (B,A) na Figura 20 e (A,A) e (B,B) na Figura 21 -, podem tanto aumentar como diminuir, dependendo da diferença entre o risco real e percebido nas situações onde pelo menos um deles não adota a prevenção e nenhum deles adota, ou seja, dependendo de quanto  $d_{13}^*$  e  $d_{22}^*$  são menores que  $d_{13}$  e  $d_{22}$ , e de quanto  $d_{14}^*$  e  $d_{24}^*$  são menores que  $d_{14}$  e  $d_{24}$ , o que influencia no deslocamento das linhas limites nas Figuras em questão.

A implicação de o risco percebido ser menor que o risco real é, por exemplo, numa situação onde o custo de prevenção dos produtores 1 e 2 forem ligeiramente inferiores a  $(d_{13}-d_{11})(p+c_{c1})$  e  $(d_{22}-d_{21})(p+c_{c2})$ , respectivamente (para o caso I, da Figura 20), em que o equilíbrio deveria ser (A,A) se eles avaliassem corretamente o risco, mas passa a ser (A,B) ou (B,A) com a avaliação equivocada do mesmo.

Essa situação onde o risco percebido é menor que o risco real é relativamente comum, e ocorre, por exemplo, quando poucos surtos de uma determinada doença ocorreram no período recente. Isso pode induzir o produtor a inferir que o risco da infecção da doença sofreu redução, o que não necessariamente é verdade.

Nesse caso, ações do governo no sentido de melhorar a percepção de risco por parte do produtor poderia ser um estímulo à adoção da prevenção, através de campanhas de conscientização.

Outra possibilidade é se o risco percebido do animal que passou por medidas preventivas ser menor que o risco real, ou seja,  $(d_{11}^*=d_{21}^*) < (d_{11}=d_{21})$  e  $(d_{12}^*=d_{23}^*) < (d_{12}=d_{23})$ . Nesse caso, ocorre o contrário do descrito anteriormente, com o aumento da área de possibilidade do equilíbrio (A,A), e redução da área do equilíbrio (B,B). Isso significa, portanto, que houve um estímulo à adoção da prevenção. Nesse caso, tornam-se menos necessárias as ações de estímulo por parte do governo.

Da mesma forma que no caso anterior, as áreas onde os equilíbrios (A,B) e (B,A) são únicos, bem como as áreas onde existem dois equilíbrios - (A,B) e (B,A) na Figura 20 e (A,A) e (B,B) na Figura 21 -, podem tanto aumentar como diminuir, dependendo de quanto  $d_{11}^*$  e  $d_{21}^*$  são menores que  $d_{11}$  e  $d_{21}$ , e de quanto  $d_{12}^*$  e  $d_{23}^*$  são menores que  $d_{12}$  e  $d_{23}$ .

### **5.1.5 Se o mercado tem estrutura oligopolista ao invés de competitiva**

Considera-se, nesse caso, que existem poucos produtores operando no mercado, os quais dividem entre si a demanda dos consumidores. Para facilidade de exposição, pressupõe-se que se trata de um duopólio, ou seja, existem apenas dois produtores. É pressuposto, por exemplo, que o custo fixo dos duopolistas é suficientemente grande para que outras firmas decidam não entrar no mercado.

Se um deles deixar de operar, o outro se torna monopolista, tendo todo o mercado consumidor para si, e comercializando o produto a um preço superior ao praticado no mercado

duopolista. O preço  $p_j$  do produto, portanto, depende da quantidade  $Q_j$  produzida por ambos os produtores ( $Q_j = q_{1j} + q_{2j}$ ); quanto maior a quantidade produzida, menor será o preço. Considera-se, assim, uma função inversa de demanda linear, da forma  $p_j = a - b \cdot Q_j$ , onde  $\frac{\partial p_j}{\partial q_{ij}} < 0$ .

Assume-se que, nessa situação, cada produtor decide o quanto produzir considerando que sua decisão irá influenciar o preço do produto no mercado, e tomando como dada a quantidade produzida por seu concorrente.

Todas essas pressuposições caracterizam o modelo de duopólio de Cournot.

Para efeito de simplificação do modelo, considera-se que todas as parcelas do custo são fixas por cabeça, e portanto os custos marginais relativos a  $c_{oij}$ ,  $c_{pij}$  e  $c_{cij}$  são constantes. Cabe ressaltar uma diferença importante em relação à situação anterior, onde  $c_{oij}$  era uma função de  $q_{ij}$ .

A receita do produtor  $i$  será dada por:

$$P_{ij} = p_j q_{ij} = (a - bQ_j) q_{ij} \quad (30)$$

A Esperança da função lucro é semelhante à descrita na equação (1) definida anteriormente. Maximizando-a para o produtor 1, considerando a função de demanda definida acima, além de todos os custos como sendo variáveis, porém assumindo um valor fixo por animal, tem-se como condição de primeira ordem para o produtor 1:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_{1j}}{\partial q_{1j}} &= 0 \\ -d_{1j} \left( \frac{\partial C_{1j}^*}{\partial q_{1j}} \right) + (1 - d_{1j}) \frac{\partial P_{1j}}{\partial q_{1j}} - (1 - d_{1j}) \left( \frac{\partial C_{1j}}{\partial q_{1j}} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (31)$$

Substituindo  $C_{1j}^*$ ,  $P_{1j}$ , e  $C_{1j}$  pelas suas respectivas equações, tem-se:

$$\begin{aligned} -d_{1j} (c_{oij} + c_{pij} + c_{cij}) + (1 - d_{1j}) (a - 2bq_{1j} - bq_{2j}) - (1 - d_{1j}) (c_{oij} + c_{pij}) &= 0 \\ -d_{1j} c_{c1j} + (1 - d_{1j}) a - (1 - d_{1j}) 2bq_{1j} - (1 - d_{1j}) bq_{2j} - c_{o1j} - c_{p1j} &= 0 \\ -d_{1j} c_{c1j} + (1 - d_{1j}) (a - 2bq_{1j} - bq_{2j}) - c_{o1j} - c_{p1j} &= 0 \end{aligned} \quad (32)$$

A condição de segunda ordem exige que:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \pi_{1j}}{\partial q_{1j}^2} < 0 \\ (1 - d_{1j})(2b) > 0 \end{aligned} \quad (33)$$

o que é assumido como satisfeito, para que a demanda seja negativamente inclinada.

O modelo delineado para a presente análise pressupõe uma mesma função de lucro para os dois produtores, de forma que as condições de primeira e segunda ordem para o produtor 2 são as mesmas, substituindo-se  $q_{1j}$  por  $q_{2j}$  e vice-versa.

A partir da condição de primeira ordem, considerando que apenas o preço  $p_j$  é uma função de  $q_{ij}$  ( $p_j = a - b(q_{1j} + q_{2j})$ ), pode-se identificar a quantidade  $q_{1j}$  que maximiza a função de lucro do produtor 1, dados  $p_j$ ,  $d_{1j}$ ,  $c_{p1j}$ ,  $c_{c1j}$ , e  $c_{o1j}$ :

$$q_{1j}^* = \frac{(1 - d_{1j})(a - bq_{2j}) - d_{1j}c_{c1j} - c_{p1j} - c_{o1j}}{(1 - d_{1j})2b}; \quad i = 1,2 \text{ e } j = 1,2,3,4 \quad (34)$$

sendo a mesma equação também para o produtor 2, com suas devidas substituições de  $q_{1j}$  por  $q_{2j}$ .

As condições para que  $q_{ij}$  seja maior que zero - a restrição de domínio da equação-, compreende:

- (i)  $2b$  não tenda a infinito
- (ii)  $d_{1j}$  não tenda à unidade e
- (iii)  $(1 - d_{1j})(a - bq_{2j}) - d_{1j}c_{c1j} - c_{p1j} - c_{o1j} \geq 0$  (35)

Pressupondo que as condições para a restrição de domínio são satisfeitas, uma vez que se não fossem, o mercado teria características de competição perfeita, e substituindo  $q_{1j}^*$  na função de lucro geral, representada na equação (1) definida anteriormente, obtém-se:

$$\pi_{1j} = \frac{[(1 - d_{1j})(a - bq_{2j}) - d_{1j}c_{c1j} - c_{p1j} - c_{o1j}]^2}{(1 - d_{1j})4b} - c_{f1j} \quad (36)$$

Considerando-se as funções de lucro máximo para cada situação hipotética em relação a:  $i = 1, 2$  e  $j = 1, 2, 3, 4$ ; lembrando que  $c_{p1j} = 0$  para  $j = 3, 4$  e  $c_{p2j} = 0$  para  $j = 2, 4$ , tem-se a matriz de *payoffs* representada na Figura 23.

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$\{(1-d_{11})(a-bq_{21})-d_{11}c_{e1}-c_{o1}-c_{p1}\}^2/(1-d_{11})4b\}-c_{f1}$ ; $\{(1-d_{21})(a-bq_{11})-d_{21}c_{e2}-c_{o2}-c_{p2}\}^2/(1-d_{21})4b\}-c_{f2}$	$\{(1-d_{12})(a-bq_{22})-d_{12}c_{e1}-c_{o1}-c_{p1}\}^2/(1-d_{12})4b\}-c_{f1}$ ; $\{(1-d_{22})(a-bq_{12})-d_{22}c_{e2}-c_{o2}\}^2/(1-d_{22})4b\}-c_{f2}$
	B	$\{(1-d_{13})(a-bq_{23})-d_{13}c_{e1}-c_{o1}\}^2/(1-d_{13})4b\}-c_{f1}$ ; $\{(1-d_{23})(a-bq_{13})-d_{23}c_{e2}-c_{o2}-c_{p2}\}^2/(1-d_{23})4b\}-c_{f2}$	$\{(1-d_{14})(a-bq_{24})-d_{14}c_{e1}-c_{o1}\}^2/(1-d_{14})4b\}-c_{f1}$ ; $\{(1-d_{24})(a-bq_{14})-d_{24}c_{e2}-c_{o2}\}^2/(1-d_{24})4b\}-c_{f2}$

Figura 23 - Matriz de *payoffs* do jogo sem a intervenção do governo, num mercado duopolista

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por se tratar de um duopólio, a quantidade  $Q_j$  produzida no mercado é menor que a produzida se o mercado fosse competitivo, e o preço do produto e o lucro dos produtores são maiores.

### 5.1.6 Generalizando o jogo para o caso em que envolve muitos produtores

Generalizando-se o jogo para  $n$  produtores, todos localizados em uma determinada região, pressupõe-se que a decisão de cada um deles quanto à adoção de medidas preventivas influencia o *payoff* dos outros através da probabilidade de contrair a doença. Quanto maior o número de produtores que adotam as medidas, menor a probabilidade de todos os rebanhos contraírem a doença.

Definem-se as seguintes probabilidades:

$d_{ij}$  = probabilidade do animal do produtor  $i$  contrair a doença na situação  $j$ ;

onde:

$i = 1, 2, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, n, \dots, 2^n$ ; para  $j = 1$  = nenhum produtor adota medida;  $j = 2$  = apenas o produtor 1 adota;  $j = 3$  = apenas o produtor 2 adota; ...;  $j = x$  = apenas os produtores 1 e 2 adotam;  $j = y$  = apenas os produtores 1, 2 e 3 adotam; ...;  $j = 2^n$  = todos adotam.

Vale lembrar que, para o produtor  $i$ , a probabilidade de seu rebanho contrair a doença será a mesma se, por exemplo, dois produtores quaisquer adotarem as medidas, independente de quais sejam esses produtores. Dessa forma, na prática, existem  $j = 2n$  possibilidades ao invés de  $2^n$  para cada produtor  $i$ .

Procedendo-se à determinação do equilíbrio, considera-se que todos os produtores maximizam sua função de lucro no segundo estágio do jogo, a partir de onde determinam a quantidade  $q_i$  a ser produzida. Como no jogo com apenas dois jogadores, a função lucro de cada jogador será dada pela equação (37):

$$\pi_{ij} = \frac{[(1-d_{ij})p - d_{ij}c_{cij} - c_{pij}]^2}{4b} - c_{fij} \quad (37)$$

Substitui-se, então, a probabilidade  $d_{ij}$  em cada situação hipotética para  $i = 1, 2, \dots, n$  e  $j = 1, 2, \dots, 2^n$ , para definir-se a matriz de *payoffs*. Como nesse caso trata-se de muitos jogadores, não é possível apresentar graficamente a matriz.

A decisão de cada produtor segue a mesma lógica do jogo com apenas dois jogadores, ou seja, em cada situação  $j$  ele decide se é melhor adotar ou não as medidas preventivas.

Se  $m$  produtores decidem adotar as medidas (e conseqüentemente  $n-m-1$  decidem não adotar), o produtor  $i$  também adota as medidas se:

$$\{\pi_{ij} \mid j = m+i \text{ adotam}\} > \{\pi_{ij} \mid j = i \text{ não adota e } m \text{ adotam}\},$$

ou seja, se o lucro esperado ao adotar a medida, dado que  $m$  produtores já adotaram, for maior do que o lucro esperado se ele não adotar a medida.

De maneira geral, as condições para os possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras serão:

- (A,A,...A) - todos adotam as medidas:  $\{\pi_{ij} \mid j = n \text{ adotam}\} \geq \{\pi_{ij} \mid j = n-1 \text{ adotam, } i \text{ não adota}\}$ , para  $i=1,2,\dots,n$ ; ou seja, se o lucro esperado adotando a medida, dado que todos os outros também adotaram, for maior do que o lucro esperado se ele não adotar; (38)
- (B,B,...,B) – nenhum adota as medidas:  $\{\pi_{ij} \mid j = \text{nenhum adota}\} \geq \{\pi_{ij} \mid j = n-1 \text{ não adotam, } i \text{ adota}\}$ , para  $i=1,2,\dots,n$ ; ou seja, se o lucro esperado quando não se adota a medida, dado que todos os outros também não adotaram, for maior do que o lucro esperado se ele adotar; (39)

- $(A_1, A_2, \dots, A_m, B_{m+1}, \dots, B_n)$  –  $m$  produtores adotam e  $n-m$  não adotam:
  - $\{\pi_{i,j} \mid j = m \text{ adotam, incluindo } i, \text{ e } n-m \text{ não adotam}\} \geq \{\pi_{i,j} \mid j = m-1 \text{ adotam, e } n-m+1 \text{ não adotam, incluindo } i\}$ , para  $i = 1, 2, \dots, m$ ; ou seja, para cada um dos  $m$  produtores que decidem adotar, o seu lucro esperado será maior adotando a medida, dado que os  $m-1$  produtores também adotaram, do que o lucro se ele não adotar;
  - e
  - $\{\pi_{i,j} \mid j = n-m \text{ não adotam, incluindo } i\} \geq \{\pi_{i,j} \mid j = n-m-1 \text{ não adotam, e } m+1 \text{ adotam, incluindo } i\}$ , para  $i = m+1, \dots, n$ ; ou seja, para cada um dos  $n-m$  produtores que decidem não adotar, a esperança do lucro será maior não adotando a medida, dado que os  $n-m-1$  produtores também não adotaram, do que o lucro se ele adotar. (40)

Resolvendo as inequações, obtêm-se as seguintes condições gerais para os possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras:

- $(A, A, \dots, A)$ :  $c_{pi} \leq \{\{d_{ij} \mid j = n-1 \text{ adotam, } i \text{ não adota}\} - \{d_{ij} \mid j = n \text{ adotam}\}\} (p+c_{ci})$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$  (41)

- $(B, B, \dots, B)$ :  $c_{pi} \geq \{\{d_{ij} \mid j = \text{nenhum adota}\} - \{d_{ij} \mid j = n-1 \text{ não adotam, } i \text{ adota}\}\} (p+c_{ci})$ , para  $i = 1, 2, \dots, n$  (42)

- $(A_1, A_2, \dots, A_m, B_{m+1}, \dots, B_n)$ :
  - $c_{pi} \leq \{\{d_{ij} \mid j = m-1 \text{ adotam, e } n-m+1 \text{ não adotam, incluindo } i\} - \{d_{ij} \mid j = m \text{ adotam, incluindo } i\}\} (p+c_{ci})$ , para  $i = 1, 2, \dots, m$ ;
  - e
  - $c_{pi} \geq \{\{d_{ij} \mid j = n-m \text{ não adotam, incluindo } i\} - \{d_{ij} \mid j = n-m-1 \text{ não adotam, e } m+1 \text{ adotam, incluindo } i\}\} (p+c_{ci})$ , para  $i = m+1, \dots, n$  (43)

De maneira geral, as análises realizadas ajudam a entender a tomada de decisões pelos produtores em um grupo com comportamento relativamente homogêneo quanto à adoção de medidas preventivas. Nesse caso, mesmo sem a intervenção do governo, os produtores adotam as medidas preventivas se o lucro esperado for maior que no caso em que não adotam.

No contexto em que o lucro esperado é maior se as medidas preventivas não forem adotadas, é possível que a atuação de um outro agente na economia, como o governo, seja necessária, conforme se discute no item seguinte.

## 5.2 Análise das estratégias e determinação do equilíbrio no cenário básico com a intervenção do governo

Da mesma forma que na análise do cenário 1 - sem a intervenção do governo - parte-se do segundo estágio do jogo, em que o produtor decide a quantidade produzida que maximiza sua função de lucro, considerando um jogo com dois jogadores.

A parcela do custo referente aos custos variáveis de produção também é considerada uma função de  $q_{ij}$  ( $c_{oij} = b \cdot q_{ij}$ ,  $b > 0$ ), e o custo de controle/descontaminação ( $c_{cij} q_{ij}$ ) só será incorrido se a doença ocorrer (ou seja, para  $C_{ij}^*$ ), como no cenário anterior.

Ademais, uma indenização  $I$  por animal é introduzida na função de lucro esperada para o caso em que o produtor adota as medidas preventivas, na parcela do lucro referente à situação em que a doença ocorre; e uma multa  $M$  é instituída no caso do produtor não adotar as medidas preventivas e seu animal adoecer, com uma probabilidade ( $s$ ) do governo detectar se de fato o produtor não adotou tais medidas se o animal não contrair a doença, sendo  $0 < s < 1$ .

Assim, relembando a Esperança da função geral de lucro dada pelas equações (4) e (5) definidas anteriormente (ou seja,  $\pi_{ij} = d_{ij}(Iq_{ij} - C_{ij}^*) + (1 - d_{ij})(P - C_{ij})$  para o caso em que o produtor adota a prevenção, e  $\pi_{ij} = d_{ij}(-C_{ij}^* - Mq_{ij}) + (1 - d_{ij})(P - C_{ij} - sMq_{ij})$  para o caso em que ele não adota), e maximizando-as, tem-se duas Esperanças de lucro distintas para cada situação em relação à prevenção.

- i. Maximização do lucro para a situação em que o produtor adota a prevenção (para  $i = 1, j = 1, 2$  e  $i = 2, j = 1, 3$ )

A condição de primeira ordem estabelece que:

$$\frac{\partial \pi_{ij}}{\partial q_{ij}} = 0$$

$$d_{ij} \left( I - \frac{\partial C_{ij}^*}{\partial q_{ij}} \right) + (1 - d_{ij}) \frac{\partial P}{\partial q_{ij}} - (1 - d_{ij}) \left( \frac{\partial C_{ij}}{\partial q_{ij}} \right) = 0 \quad (44)$$

Substituindo  $C_{ij}^*$ ,  $P$ , e  $C_{ij}$  pelas suas respectivas equações, tem-se:

$$d_{ij} (I - c_{pij} - c_{cij} - 2bq_{ij}) + (1 - d_{ij})p - (1 - d_{ij})(c_{pij} + 2bq_{ij}) = 0$$

$$d_{ij} (I - c_{cij}) + (1 - d_{ij})p - c_{pij} - 2bq_{ij} = 0 \quad (45)$$

A condição de segunda ordem exige que:

$$\frac{\partial^2 \pi_{ij}}{\partial q_{ij}^2} < 0$$

$$2b > 0 \quad (46)$$

o que é assumido como satisfeito para uma função de custo do tipo quadrática, onde o custo marginal ( $c_{pij} + d_{ij}c_{cij} + 2bq_i$ ) é linear e crescente, e sua derivada é positiva.

A partir da condição de primeira ordem, define-se a quantidade  $q_{ij}^*$  que maximiza a Esperança da função de lucro do produtor, dados  $I, p, d_{ij}, c_{cij}, c_{pij}$ :

$$q_{ij}^* = \frac{d_{ij}(I - c_{cij}) + (1 - d_{ij})p - c_{pij}}{2b}; \quad i = 1, j = 1, 2 \text{ e } i = 2, j = 1, 3 \quad (47)$$

Para que  $q_{ij}^*$  seja maior que zero - a restrição de domínio da equação-, é necessário que:

$$(i) \quad d_{ij}I + (1 - d_{ij})p \geq d_{ij}c_{cij} + c_{pij} \quad (48)$$

(ii)  $2b$  não tenda ao infinito

Pressupondo que as condições dadas por (48) são satisfeitas, e substituindo  $q_{ij}^*$  de máximo lucro na função de lucro geral, representada na equação (4) definida anteriormente, obtém-se:

$$\pi_{ij} = \frac{[d_{ij}(I - c_{cij}) + (1 - d_{ij})p - c_{pij}]^2}{4b} - c_{fij}; \quad i = 1, j = 1, 2 \text{ e } i = 2, j = 1, 3 \quad (49)$$

- ii. Maximização do lucro para a situação em que o produtor não adota a prevenção (para  $i = 1, j = 3, 4$  e  $i = 2, j = 2, 4$ )

A condição de primeira ordem estabelece que:

$$\frac{\partial \pi_{ij}}{\partial q_{ij}} = 0$$

$$d_{ij} \left( -\frac{\partial C_{ij}^*}{\partial q_{ij}} - M \right) + (1 - d_{ij}) \frac{\partial P}{\partial q_{ij}} - (1 - d_{ij}) \left( \frac{\partial C_{ij}}{\partial q_{ij}} + sM \right) = 0 \quad (50)$$

Substituindo  $C_{ij}^*$ ,  $P$ , e  $C_{ij}$  pelas suas respectivas equações, tem-se:

$$d_{ij} (-c_{p_{ij}} - c_{c_{ij}} - 2bq_{ij} - M) + (1 - d_{ij})p - (1 - d_{ij})(c_{p_{ij}} + 2bq_{ij} + sM) = 0$$

$$[d_{ij}(s-1) - s]M + (1 - d_{ij})p - d_{ij}c_{c_{ij}} - 2bq_{ij} = 0 \quad (51)$$

A condição de segunda ordem exige que:

$$\frac{\partial^2 \pi_{ij}}{\partial q_{ij}^2} < 0$$

$$2b > 0 \quad (52)$$

o que é assumido como satisfeito.

A partir da condição de primeira ordem, define-se a quantidade  $q_{ij}^*$  que maximiza a Esperança da função de lucro do produtor, dados  $M, s, p, d_{ij}, c_{c_{ij}}$ :

$$q_{ij}^* = \frac{[d_{ij}(s-1) - s]M + (1 - d_{ij})p - d_{ij}c_{c_{ij}}}{2b}; \quad i = 1, j = 3, 4 \text{ e } i = 2, j = 2, 4 \quad (53)$$

Para que  $q_{ij}^*$  seja maior que zero - a restrição de domínio da equação-, é necessário que:

$$(i) (1 - d_{ij})p \geq +d_{ij}c_{c_{ij}} - [d_{ij}(s-1) - s]M \quad (54)$$

(ii)  $2b$  não tenda ao infinito

Pressupondo que a condição dada por (50) é satisfeita, e substituindo  $q_{ij}^*$  de máximo lucro na função de lucro geral, representada na equação (5) definida anteriormente, obtém-se:

$$\pi_{ij} = \frac{\{(1 - d_{ij})p + [d_{ij}(s-1) - s]M - d_{ij}c_{c_{ij}}\}^2}{4b} - c_{f_{ij}}; \quad i = 1, j = 3, 4 \text{ e } i = 2, j = 2, 4 \quad (55)$$

A partir das duas Esperanças de lucro definidas acima, para cada situação hipotética de  $i = 1, 2$  e  $j = 1, 2, 3, 4$ , tem-se a matriz de *payoffs* conforme representado na Figura 24.

		Produtor 2	
		A	B
Produtor 1	A	$\{[d_{11}(I-c_{e1})+(1-d_{11})p-c_{p1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{[d_{21}(I-c_{e2})+(1-d_{21})p-c_{p2}]^2/4b\}-c_{f2}$	$\{[d_{12}(I-c_{e1})+(1-d_{12})p-c_{p1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{[(1-d_{22})p+[d_{22}(s-1)-s]M-d_{22}c_{e2}]^2/4b\}-c_{f2}$
	B	$\{[(1-d_{13})p+[d_{13}(s-1)-s]M-d_{13}c_{e1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{[d_{23}(I-c_{e2})+(1-d_{23})p-c_{p2}]^2/4b\}-c_{f2}$	$\{[(1-d_{14})p+[d_{14}(s-1)-s]M-d_{14}c_{e1}]^2/4b\}-c_{f1};$ $\{[(1-d_{24})p+[d_{24}(s-1)-s]M-d_{24}c_{e2}]^2/4b\}-c_{f2}$

Figura 24 - Matriz de *payoffs* do jogo com a intervenção do governo, considerando que cada produtor maximiza seu lucro

Fonte: Resultados da pesquisa.

A partir da matriz de *payoffs*, pode-se deduzir as quatro possíveis configurações de equilíbrio para este jogo: (A,A), (A,B), (B,A) e (B,B). As condições necessárias e suficientes para que cada uma dessas configurações seja um equilíbrio de Nash em estratégias puras são:

$$(A,A): c_{p1} \leq d_{11} I - [d_{13} (s - 1) - s] M + (d_{13} - d_{11}) (p+c_{e1}) \text{ e } c_{p2} \leq d_{21} I - [d_{22} (s - 1) - s] M + (d_{22} - d_{21}) (p+c_{e2}) \quad (56)$$

$$(A,B): c_{p1} \leq d_{12} I - [d_{14} (s - 1) - s] M + (d_{14} - d_{12}) (p+c_{e1}) \text{ e } c_{p2} \geq d_{21} I - [d_{22} (s - 1) - s] M + (d_{22} - d_{21}) (p+c_{e2}) \quad (57)$$

$$(B,A): c_{p1} \geq d_{11} I - [d_{13} (s - 1) - s] M + (d_{13} - d_{11}) (p+c_{e1}) \text{ e } c_{p2} \leq d_{23} I - [d_{24} (s - 1) - s] M + (d_{24} - d_{23}) (p+c_{e2}) \quad (58)$$

$$(B,B): c_{p1} \geq d_{12} I - [d_{14} (s - 1) - s] M + (d_{14} - d_{12}) (p+c_{e1}) \text{ e } c_{p2} \geq d_{23} I - [d_{24} (s - 1) - s] M + (d_{24} - d_{23}) (p+c_{e2}) \quad (59)$$

Os parâmetros envolvidos nesses equilíbrios são  $p$ ,  $c_{ei}$ ,  $I$ ,  $s$ , e  $M$ , que são exógenos, e  $c_{pi}$ , o qual é tomado como base para a decisão dos produtores.

Graficamente, os possíveis equilíbrios de Nash são apresentados na Figura 25 (pressupondo, para efeito de simplificação, que  $(d_{14} - d_{12}) > (d_{13} - d_{11})$  e que  $(d_{24} - d_{23}) > (d_{22} - d_{21})$ , ou seja, para que exista somente uma possível configuração gráfica do equilíbrio).

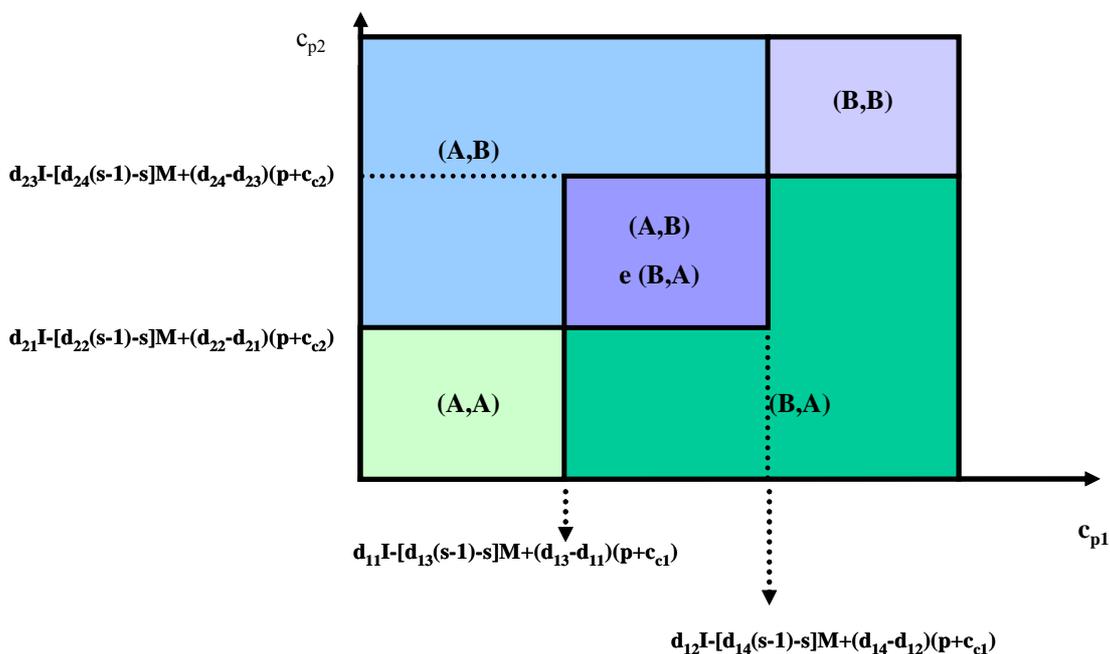


Figura 25 - Gráfico dos possíveis equilíbrios de Nash em estratégias puras, com intervenção do governo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Pode-se inferir a partir da análise gráfica que quanto maior a indenização  $I$  oferecida pelo governo, mantendo as outras variáveis constantes, maior é a chance do equilíbrio (A,A) ocorrer, ou seja, maior pode ser o custo de prevenção para que o produtor decida adotá-la.

Da mesma forma, quanto maior a multa  $M$  aplicada ao produtor que não adotar a prevenção, mantidas as outras variáveis constantes, maior é a chance do equilíbrio (A,A) ocorrer.

Se a probabilidade  $s$  do governo detectar se de fato o produtor não adotou as medidas preventivas quando os animais não adoecem aumenta, a chance do equilíbrio (A,A) também aumenta.

Assim, verifica-se que todas as possíveis formas de intervenção do governo, seja a aplicação de uma multa pela não prevenção, ou a garantia de indenização caso os animais que passaram pela prevenção contraíam a doença, são efetivas para estimular a adoção das medidas por parte do produtor.

A multa, no entanto, proporciona um maior estímulo à prevenção que a indenização, de acordo com o jogo analisado no presente trabalho, o que pode ser verificado pelo coeficiente de ambas as variáveis nas equações que definem os possíveis equilíbrios.

Na configuração do equilíbrio (A,A), definido pela equação (56), o coeficiente de  $M$  para ambos os produtores é mais expressivo que o de  $I$ , ou seja:

$$-[d_{13}(s-1) - s] > d_{11}, \text{ para o produtor 1}$$

e

$$-[d_{22}(s-1) - s] > d_{21}, \text{ para o produtor 2}$$

O esforço de fiscalização e controle sanitário por parte do governo também deve estimular a prevenção, aumentando a probabilidade de detecção dos produtores que não adotam as medidas, representada pela variável  $s$  no presente jogo.

Do ponto de vista do governo, este deve instituir uma indenização  $I$  e/ou uma multa  $M$  que garanta o equilíbrio (A,A), evitando assim perdas econômicas no caso de um surto, bem como prejuízo ao reconhecimento do país no exterior no que se refere à segurança/sanidade de seus produtos.

Para que (A,A) seja o equilíbrio do jogo, a indenização estabelecida pelo governo deve ser:

$$I \geq \text{Max} \left\{ \frac{c_{p1} + M[d_{13}(s-1) - s] - (d_{13} - d_{11})(c_{c1} + p)}{d_{11}}, \frac{c_{p2} + M[d_{22}(s-1) - s] - (d_{22} - d_{21})(c_{c2} + p)}{d_{21}} \right\}$$

, para  $i=1,2$  (60)

Quanto maior o custo de prevenção ( $c_{pi}$ ), maior deve ser a indenização para que o equilíbrio seja (A,A).

Já um aumento da multa ( $M$ ) pode ser compensada por uma redução da indenização por parte do governo, para garantir que (A,A) seja o equilíbrio.

Em relação aos custos de controle ( $c_{ci}$ ) e preços ( $p$ ), quanto maiores estas variáveis, menor pode ser a indenização para garantir o equilíbrio (A,A).

A melhora da fiscalização por parte do governo, refletindo no aumento da probabilidade de detecção ( $s$ ) se os animais não passaram pela prevenção, também permite que a indenização seja reduzida para garantir que o equilíbrio seja a situação onde ambos decidem adotar a prevenção.

Através desta análise, portanto, o governo pode estabelecer qual a melhor política de incentivo a ser tomada.

### 5.3 Resultados empíricos

#### 5.3.1 Aplicação empírica do modelo – simulação para o caso de febre aftosa em bovinos, sem intervenção do governo

Supõe-se, com base nos dados de custo de produção levantados pelo Cepea para uma fazenda representativa da região de Naviraí – MS, cujo rebanho é composto por 2.376 animais, que a expressão de lucro dos produtores é a seguinte (relativa ao período de recria e engorda do gado de 2 anos):

$$\pi_{ij} = p \cdot q_i - c_{pi} \cdot q_i - c_{ci} \cdot q_i - c_{oi} \cdot q_i - c_{fi} \quad (61)$$

onde:

$c_{pi}$  = R\$ 6,00/cabeça;

$c_{ci}$  = R\$ 122,00/cabeça;

$c_{oi}$  = R\$ 320,00/cabeça;

$c_{fi}$  = R\$ 179.000,00;

$p$  = R\$ 820,00/cabeça.

Pressupõe-se, a princípio, que os dois produtores têm os mesmos custos de produção, para um rebanho de tamanho semelhante, e que o número  $q_i$  de animais de cada rebanho é o considerado ótimo, que maximiza o lucro.

Dessa forma, a esperança do lucro dos produtores será:

$$\pi_{ij} = d_{ij} (-6 q_i - 122 q_i - 320 q_i - 179.000) + (1 - d_{ij}) (820 q_i - 6 q_i - 122 q_i - 320 q_i - 179.000) \quad (62)$$

Como não foi possível encontrar na literatura de referência uma indicação precisa do risco de infecção da doença, alguns cenários serão simulados considerando-se diferentes probabilidades, de forma hipotética.

Além disso, visto que no caso da febre aftosa o custo de descontaminação/controla da doença e sacrifício dos animais ( $c_{ci}$ ) é coberto pelo governo, este não será considerado na função de custo do produtor, sendo introduzido somente em cenário posterior para efeito de simulação.

Para a realização de simulações considerando diferentes probabilidades de risco de infecção da doença, compõe-se, a princípio, um cenário base, onde se assumem as seguintes probabilidades hipotéticas:  $d_{11} = d_{21} = 0,10$ ;  $d_{12} = d_{23} = 0,2$ ;  $d_{13} = d_{22} = 0,3$ ;  $d_{14} = d_{24} = 0,4$ ; para as outras variáveis, considera-se os valores já explicitados anteriormente. A matriz de payoffs do cenário base é apresentada na Figura 26.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 799.912,00	R\$ 799.912,00	R\$ 605.080,00	R\$ 424.504,00
	B	R\$ 424.504,00	R\$ 605.080,00	R\$ 229.672,00	R\$ 229.672,00

Figura 26 - Matriz de payoffs da análise empírica, para o cenário base

Fonte: Resultados da pesquisa.

A partir da matriz de payoffs, verifica-se que a estratégia dominante para ambos os jogadores é vacinar o rebanho, e assim o jogo proposto possui apenas um equilíbrio em estratégia dominante, que é (A,A). No equilíbrio, nenhum dos jogadores tem estímulo para mudar sua estratégia unilateralmente, dado que obtém um payoff menor se o fizer.

É importante salientar que o fato de (A,A) ser o equilíbrio do jogo não significa que num caso real as outras situações (equilíbrios (A,B), (B,A), e (B,B)) não deverão ocorrer. Como já discutido anteriormente, se houver diferenças entre o resultado encontrado e o equilíbrio de Nash predito, provavelmente houve um engano por parte de um ou de ambos os tomadores de decisão, ou algum deles não entendeu de maneira correta as preferências de seu oponente, ou por simplesmente algum deles não ter entendido o jogo ou não ser racional.

Se ambos os jogadores utilizam uma estratégia Maximin, o resultado também tende para a melhor situação para ambos, ou seja, o equilíbrio (A,A). A forma de encontrar o equilíbrio se os jogadores utilizarem esta estratégia é a seguinte: considerando inicialmente as decisões do jogador 1, verifica-se que se ele escolher A, seu payoff mínimo será R\$ 605.080,00, e se jogar B o mínimo que pode receber será R\$ 229.672,00. Nesse caso, sua estratégia Maximin é jogar A, dado que no mínimo ele receberá R\$ 605.080,00. Como o jogo é simétrico, se o jogador B também utilizar sua estratégia Maximin, o resultado do jogo será (A,A).

A partir desse cenário base, diferentes simulações são realizadas, onde são determinadas as alterações no equilíbrio do jogo a partir de mudanças no valor nas variáveis consideradas. Estas simulações estão apresentadas esquematicamente no Quadro 3.

Variável	Simulações	Equilíbrio(s)
$c_{oi}$	Para qualquer valor	(A, A)
$c_{pi}$	0 a R\$ 163,00/cabeça R\$ 164/cabeça Acima de R\$ 165,00/cabeça	(A, A) (A, A), (A, B), (B, A) e (B, B) (B, B)
$c_{ci}$	Se é responsabilidade do produtor, e para qualquer valor	(A, A)
$c_{fi}$	Para qualquer valor	(A, A)
p	0 a R\$ 29,00/cabeça R\$ 30,00/cabeça Acima de R\$ 30,00/cabeça	(B, B) (A, A), (A, B), (B, A) e (B, B) (A, A)
$d_{ij}$ fazendo $d_{11} = d_{21} = a$ ; $d_{12} = d_{23} = b$ ; $d_{13} = d_{22} = c$ ; $d_{14} = d_{24} = d$ lembrando que $a \leq b \leq c \leq d$ e considerado variações mínimas de 1%	Para qualquer valor em que $a < b < c < d$ $a = 0$ ; $b = c = d = 1$ $a = b = c = 0$ ; $d > 0$ $a = b = c = d$ $a < b = c = d$ $a = b = c > 0 < d$	(A, A) (A, A) e (B, B) (A, A) (B, B) (A, A) e (B, B) (A, B) e (B, A)

Quadro 3 - Alterações no equilíbrio de Nash devido à mudanças nas variáveis

Fonte: Resultados da pesquisa.

Verifica-se através do Quadro 3 que, para quaisquer valores referentes aos outros custos de produção ( $c_{oi}$ ) e aos custos fixos ( $c_{fi}$ ), mantendo as outras variáveis nos valores assumidos no cenário base, o equilíbrio de Nash em estratégias dominantes é a situação onde ambos decidem vacinar seu rebanho, ou seja, (A,A).

Considerando um cenário onde o custo de controle/descontaminação ( $c_{ci}$ ) deve ser coberto pelo produtor, o equilíbrio do jogo também é (A,A), para qualquer valor assumido por  $c_{ci}$ .

Em relação ao custo de prevenção ( $c_{pi}$ ), verifica-se que se este assume um valor até R\$ 163,00/cabeça, mantendo as outras variáveis nos valores do cenário base, o jogo possui um único equilíbrio de Nash, que é (A,A). Já para um custo de prevenção de R\$ 164,00/cabeça, o jogo passa a ter quatro equilíbrios de Nash equiprováveis, que são as quatro possíveis situações do jogo, ou seja, (A,A), (A,B), (B,A), e (B,B). Se o custo de prevenção é superior ou igual a R\$ 165,00/cabeça, o equilíbrio do jogo passa a ser (B,B).

Em relação à variável preço ( $p$ ), verifica-se que se este é menor que R\$ 29,00/cabeça (mantendo o cenário base para as outras variáveis), o equilíbrio do jogo é a situação onde nenhum dos produtores decide vacinar seu rebanho, ou seja (B,B). Para um preço de R\$ 30,00/cabeça, o jogo passa a ter quatro equilíbrios, que são todas as possíveis situações para o jogo, ou seja, (A,A), (A,B), (B,A), e (B,B). Já para um preço superior a R\$ 30,00/cabeça, o jogo tem um equilíbrio único, que é (A,A).

Considerando o valor das probabilidades envolvidas, verifica-se que se estas forem diferentes, e seguindo a ordem de grandeza pressuposta na modelagem do jogo, o equilíbrio é sempre (A,A), para qualquer valor assumido por estas variáveis (mantendo as outras variáveis no valor do cenário base, e considerando variação mínima de 1 ponto percentual nas probabilidades). Para alguns casos extremos, como por exemplo, se a probabilidade de um animal vacinado contrair a doença for nula quando todos vacinam ( $d_{11} = d_{21} = 0$ ), e quando existe certeza que se pelo menos um deles não vacinar seu rebanho, todos contraem a doença ( $d_{12} = d_{23} = d_{13} = d_{22} = d_{14} = d_{24} = 1$ ), ambos (A,A) e (B,B) são equilíbrios do jogo. Estes também serão equilíbrios equiprováveis do jogo se a probabilidade dos animais de ambos os jogadores adquirirem a doença quando pelo menos um deles não vacinar forem iguais ( $d_{12} = d_{23} = d_{13} = d_{22} = d_{14} = d_{24}$ ), e a probabilidade do animal vacinado adoecer for menor.

Já se as probabilidades forem todas iguais, ou seja, não dependerem da vacinação do rebanho, o equilíbrio do jogo será (B,B).

Se as probabilidades dos animais de ambos os jogadores adquirirem a doença quando pelo menos um deles decide vacinar forem iguais ( $d_{11} = d_{21} = d_{13} = d_{22} = d_{12} = d_{23}$ ), e iguais a zero, e a probabilidade do animal adoecer dado que nenhum deles vacinou for maior que zero, o equilíbrio do jogo será (A,A).

Uma outra situação seria se as probabilidades dos animais adquirirem a doença quando pelo menos um deles vacina forem iguais ( $d_{11} = d_{21} = d_{13} = d_{22} = d_{12} = d_{23}$ ), e superiores a zero. Nesse caso, os equilíbrios do jogo passam a ser (A,B) e (B,A), ou seja, apenas um deles decide vacinar.

O que se percebe a partir dessas simulações, portanto, é que o custo de prevenção contra febre aftosa é relativamente baixo, não compensando para o produtor correr os riscos de não vacinar seu rebanho. É mais vantajoso para o produtor não adotar as medidas preventivas apenas se a diferença de probabilidade de um animal vacinado e não vacinado adquirir a doença for muito pequena, e praticamente nula, como verificado na simulação.

#### **5.3.1.1 Considerando a existência de um prêmio para animais não vacinados**

Também pode-se pressupor que existem consumidores que estão dispostos a pagar um prêmio para o animal não vacinado, entre 10% e 50% segundo Ekboir et al. (2002 apud RICH, 2004). Isso pode gerar um estímulo para que nenhum produtor adote as medidas preventivas, com o objetivo de obter o status de livre de aftosa sem vacinação pela OIE<sup>33</sup>.

Pressupõe-se, portanto, que se nenhum produtor vacinar seus animais, eles obtêm um preço superior ao praticado se ao menos um deles vacinasse. Considerando os mesmos valores adotados no cenário base para as outras variáveis, e um prêmio de 10%, a matriz de payoffs dos produtores é apresentada na Figura 27. O equilíbrio de Nash em estratégias dominantes é ainda a situação (A,A).

---

<sup>33</sup> Sabe-se que para que um país obtenha o status de livre de aftosa sem vacinação um longo processo é necessário, de acordo com as normas estabelecidas pela OIE. Na simulação realizada no presente trabalho, considera-se por simplificação apenas a questão do preço do animal não vacinado, e não os custos para obter o status desejado.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 799.912,00	R\$ 799.912,00	R\$ 605.080,00	R\$ 424.504,00
	B	R\$ 424.504,00	R\$ 605.080,00	R\$ 346.571,20	R\$ 346.571,20

Figura 27 - Matriz de payoffs da análise empírica, para um prêmio de 10% sobre o preço do animal vacinado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Com um prêmio de 33% para o animal não vacinado, no entanto, o cenário se altera, e o jogo passa a ter dois equilíbrios de Nash, que são (A,A) e (B,B), determinados a partir da matriz de payoffs apresentada na Figura 28. Para um prêmio superior a 33%, portanto, o jogo tem dois equilíbrios equiprováveis.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 799.912,00	R\$ 799.912,00	R\$ 605.080,00	R\$ 424.504,00
	B	R\$ 424.504,00	R\$ 605.080,00	R\$ 615.439,36	R\$ 615.439,36

Figura 28 - Matriz de payoffs da análise empírica, para um prêmio de 33% sobre o preço do animal vacinado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para esse caso, ambos os equilíbrios de Nash - (A,A) e (B,B) – são estáveis, ou seja, nenhum dos jogadores tem estímulo para mudar sua estratégia unilateralmente, dado que obtém um payoff menor se o fizerem.

Dentre os dois equilíbrios desse jogo, conhecido na literatura como jogo de coordenação, (A,A) é preferível à (B,B) por ambos os jogadores, o que o caracteriza como Pareto ótimo. Porém, essa preferência não indica que o equilíbrio (A,A) possui uma chance maior de ocorrer. Isso depende das expectativas de um jogador sobre as estratégias de seu oponente. Se os jogadores decidirem cooperar entre si, poderiam garantir a ocorrência do equilíbrio (A,A), prevenindo seus rebanhos da doença, e obtendo payoffs superiores. Porém, se um deles espera que o outro não vá adotar (por considerar que este pode falhar ou que sua racionalidade é limitada), ele também não adota, dado que o resultado (B,B) será melhor do que se somente ele adotar. Mas o outro produtor pode ter entendido perfeitamente o jogo e decidir adotar as medidas.

Nesse caso, o resultado é ruim para ambos, e pior para aquele que não adotou (e inferiu de maneira incorreta sobre a decisão de seu oponente).

Se ambos os jogadores utilizam uma estratégia Maximin, o resultado tende para a melhor situação para ambos, ou seja, o equilíbrio (A,A).

No entanto, um jogo onde um dos equilíbrios de Nash é a situação (B,B) deve preocupar o governo e os agentes sanitários do país. Estes devem buscar incentivos para que o único equilíbrio do jogo seja (A,A). Esses incentivos podem ser o pagamento de indenização ou a aplicação de multas, os quais serão analisados empiricamente em simulação posterior.

### **5.3.1.2 Pressupondo uma situação onde a barreira sanitária imposta em decorrência do surto de febre aftosa gera impacto sobre os preços dos animais**

Considerou-se até então que se o rebanho de um dos produtores contrai o vírus da febre aftosa, o produtor que não teve problemas com a doença consegue vender seus animais pelo mesmo preço praticado no mercado antes do surto ocorrer. Essa pressuposição pode ser verdadeira considerando um mercado perfeitamente competitivo, para uma região onde, uma vez que o surto da doença ocorre e existe a necessidade de se sacrificar os animais contaminados, existe um mercado consumidor suficiente para absorver a oferta do(s) produtor(es) cujos rebanhos mantiveram-se sadios. Sabe-se que quando uma região sofre um surto da doença (como no caso ocorrido no Mato Grosso do Sul em outubro de 2005), os produtores que não tiveram problemas podem vender seus animais somente para os frigoríficos localizados dentro do Estado, mas estes não podem exportar a carne porque os países importadores impõem barreiras sanitárias à região.

No entanto, em regiões como os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, onde existe um grande número de produtores, e onde o mercado consumidor é relativamente pequeno, as exportações de carne são muito importantes para a economia regional, e portanto os preços do gado devem sofrer alterações na circunstância de um surto ocorrer.

Duas pressuposições podem ser feitas: muitos animais têm de ser sacrificados em decorrência da doença, e a oferta de animais sadios dentro do Estado se torna pequena, fazendo com que os preços recebidos pelos animais aumente; ou a oferta restante ainda é relativamente grande, e como diversos países deixam de importar a carne brasileira ou da região afetada, o preço dos animais se reduzem.

Os *payoffs*, nesse caso, devem considerar as probabilidades de apenas um dos rebanhos adquirir a doença, de ambos, e de nenhum, nos quatro cenários possíveis quanto à vacinação - ambos vacinam, apenas um deles vacina (produtor 1 ou 2), ou nenhum vacina. Os preços dos animais também são diferenciados para o caso de nenhum rebanho contrair a doença ( $p$ ) ou de pelo menos um dos rebanhos serem infectados ( $p^*$ ). Como pressuposto,  $p^*$  pode ser maior ou menor que  $p$ , dependendo se o mercado local absorve ou não a oferta restante de carnes no caso de um surto da doença.

Assim, têm-se os possíveis equilíbrios e *payoffs* para os produtores:

### 1. (A,A) – Ambos vacinam

Possibilidades:

- rebanhos de 1 e 2 contraem a doença: probabilidade =  $d_{11}.d_{21}$
- rebanho de 1 contrai a doença: probabilidade =  $d_{11}.(1 - d_{21})$
- rebanho de 2 contrai a doença: probabilidade =  $d_{21}.(1 - d_{11})$
- rebanhos de 1 e 2 não contraem a doença: probabilidade =  $(1 - d_{11}).(1 - d_{21})$

Payoffs:

$$\pi_{11} = q_1.[d_{11}.d_{21}.(-c_{o1}-c_{p1}-c_{c1})] + [d_{11}.(1-d_{21}).(-c_{o1}-c_{p1}-c_{c1})] + [d_{21}.(1-d_{11}).(p^*-c_{o1}-c_{p1})] + [(1 - d_{11}).(1 - d_{21}).(p-c_{o1}-c_{p1})] - c_{f1}$$

$$\pi_{21} = q_2.[d_{11}.d_{21}.(-c_{o2}-c_{p2}-c_{c2})] + [d_{11}.(1-d_{21}).(p^*-c_{o2}-c_{p2})] + [d_{21}.(1-d_{11}).(-c_{o2}-c_{p2}-c_{c2})] + [(1 - d_{11}).(1 - d_{21}).(p-c_{o2}-c_{p2})] - c_{f2}$$

### 2. (A,B) – Apenas o produtor 1 vacina

Possibilidades:

- rebanhos de 1 e 2 contraem a doença: probabilidade =  $d_{12}.d_{22}$
- rebanho de 1 contrai a doença: probabilidade =  $d_{12} (1 - d_{22})$
- rebanho de 2 contrai a doença: probabilidade =  $d_{22} (1 - d_{12})$
- rebanhos de 1 e 2 não contraem a doença: probabilidade =  $(1 - d_{12}).(1 - d_{22})$

Payoffs:

$$\pi_{12} = q_1.[d_{12}.d_{22}.(-c_{o1}-c_{p1}-c_{c1})] + [d_{12}.(1-d_{22}).(-c_{o1}-c_{p1}-c_{c1})] + [d_{22}.(1-d_{12}).(p^*-c_{o1}-c_{p1})] + [(1 - d_{12}).(1 - d_{22}).(p-c_{o1}-c_{p1})] - c_{f1}$$

$$\pi_{22} = q_2.[d_{12}.d_{22}.(-c_{o2}-c_{c2})] + [d_{12}.(1-d_{22}).(p^*-c_{o2})] + [d_{22}.(1-d_{12}).(-c_{o2}-c_{c2})] + [(1 - d_{12}).(1 - d_{22}).(p-c_{o2})] - c_{f2}$$

### 3. (B,A) – Apenas o produtor 2 vacina

Possibilidades:

- rebanhos de 1 e 2 contraem a doença: probabilidade =  $d_{13}.d_{23}$
- rebanho de 1 contrai a doença: probabilidade =  $d_{13}.(1-d_{23})$
- rebanho de 2 contrai a doença: probabilidade =  $d_{23}.(1-d_{13})$
- rebanhos de 1 e 2 não contraem a doença: probabilidade =  $(1-d_{13}).(1-d_{23})$

Payoffs:

$$\pi_{13} = q_1.[d_{13}.d_{23}.(-c_{o1}-c_{c1})] + [d_{13}.(1-d_{23}).(-c_{o1}-c_{c1})] + [d_{23}.(1-d_{13}).(p^*-c_{o1})] + \\ + [(1-d_{13}).(1-d_{23}).(p-c_{o1})] - c_{f1}$$

$$\pi_{23} = q_2.[d_{13}.d_{23}.(-c_{o2}-c_{p2}-c_{c2})] + [d_{13}.(1-d_{23}).(p^*-c_{o2}-c_{p2})] + [d_{23}.(1-d_{13}).(-c_{o2}-c_{p2}-c_{c2})] + \\ + [(1-d_{13}).(1-d_{23}).(p-c_{o2}-c_{p2})] - c_{f2}$$

### 4. (B,B) – Nenhum produtor vacina

Possibilidades:

- rebanhos de 1 e 2 contraem a doença: probabilidade =  $d_{14}.d_{24}$
- rebanho de 1 contrai a doença: probabilidade =  $d_{14}.(1-d_{24})$
- rebanho de 2 contrai a doença: probabilidade =  $d_{24}.(1-d_{14})$
- rebanhos de 1 e 2 não contraem a doença: probabilidade =  $(1-d_{14}).(1-d_{24})$

Payoffs:

$$\pi_{14} = q_1.[d_{14}.d_{24}.(-c_{o1}-c_{c1})] + [d_{14}.(1-d_{24}).(-c_{o1}-c_{c1})] + [d_{24}.(1-d_{14}).(p^*-c_{o1})] + \\ + [(1-d_{14}).(1-d_{24}).(p-c_{o1})] - c_{f1}$$

$$\pi_{24} = q_2.[d_{14}.d_{24}.(-c_{o2}-c_{c2})] + [d_{14}.(1-d_{24}).(p^*-c_{o2})] + [d_{24}.(1-d_{14}).(-c_{o2}-c_{c2})] + \\ + [(1-d_{14}).(1-d_{24}).(p-c_{o2})] - c_{f2}$$

Substituindo as variáveis pelos valores adotados no cenário base, e considerando que se o rebanho de um dos produtores adquirir a doença, o outro produtor consegue vender seu gado por um preço cerca de 20% inferior ao praticado no mercado antes do surto ocorrer, tem-se a matriz de payoffs da Figura 29.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 764.842,24	R\$ 764.842,24	R\$ 511.560,64	R\$ 369.951,04
	B	R\$ 369.951,04	R\$ 511.560,64	R\$ 136.152,64	R\$ 136.152,64

Figura 29 - Matriz de payoffs para o caso de uma barreira sanitária reduzir o preço dos animais sadios

Fonte: Resultados da pesquisa.

Verifica-se, através da Figura 29, que o equilíbrio do jogo em estratégia dominante é a situação (A,A). Assim, mesmo que um produtor saiba que seu vizinho não vacina seu rebanho e que se o rebanho deste contrair a doença irá prejudicar suas vendas, é melhor para ele vacinar.

Simulando-se que o preço dos animais reduz-se em até 100% no caso de um surto ocorrer na região do produtor, o que seria o mesmo que considerar que o produtor deve sacrificar seu rebanho - mesmo que este esteja sadio - se sua propriedade estiver dentro de um determinado raio do surto da doença, a melhor estratégia para ele ainda seria adotar as ações de prevenção.

Considerando-se, ao contrário, que o preço dos animais aumentam cerca de 20% no caso de um surto ocorrer na região, a matriz de payoffs passa a ser a definida na Figura 30.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 834.981,76	R\$ 834.981,76	R\$ 698.599,36	R\$ 479.056,96
	B	R\$ 479.056,96	R\$ 698.599,36	R\$ 323.191,36	R\$ 323.191,36

Figura 30 - Matriz de payoffs para o caso de uma barreira sanitária aumentar o preço dos animais sadios

Fonte: Resultados da pesquisa.

O equilíbrio de Nash em estratégias dominantes ainda é a situação onde ambos decidem vacinar o rebanho, ou seja, (A,A). Se o preço aumentar mais no caso de um surto ocorrer, por exemplo em 100%, o equilíbrio de Nash em estratégias dominantes continua sendo (A,A).

### 5.3.2 Extensões do modelo – variações na estrutura do jogo, sem intervenção do governo

#### 5.3.2.1 Jogo sequencial com informação completa e perfeita

Supõe-se que, ao invés de o primeiro estágio do jogo ser simultâneo, ele é sequencial, ou seja, os produtores não tomam a decisão ao mesmo tempo, mas sim um depois do outro. Dado que os produtores não tomam decisões ao mesmo tempo, e pressupõe-se que a informação é perfeita, o segundo jogador tem a possibilidade de observar a decisão do primeiro e reagir à ela.

Assim, além dos elementos já definidos para o jogo estratégico (jogadores, funções de *payoff*, e preferências), define-se no jogo sequencial o conjunto de seqüência das ações que os jogadores podem tomar.

A estrutura simplificada do jogo é apresentada na Figura 31, onde somente a decisão quanto à prevenção foi explicitada (e considerando o valor das variáveis do cenário base).

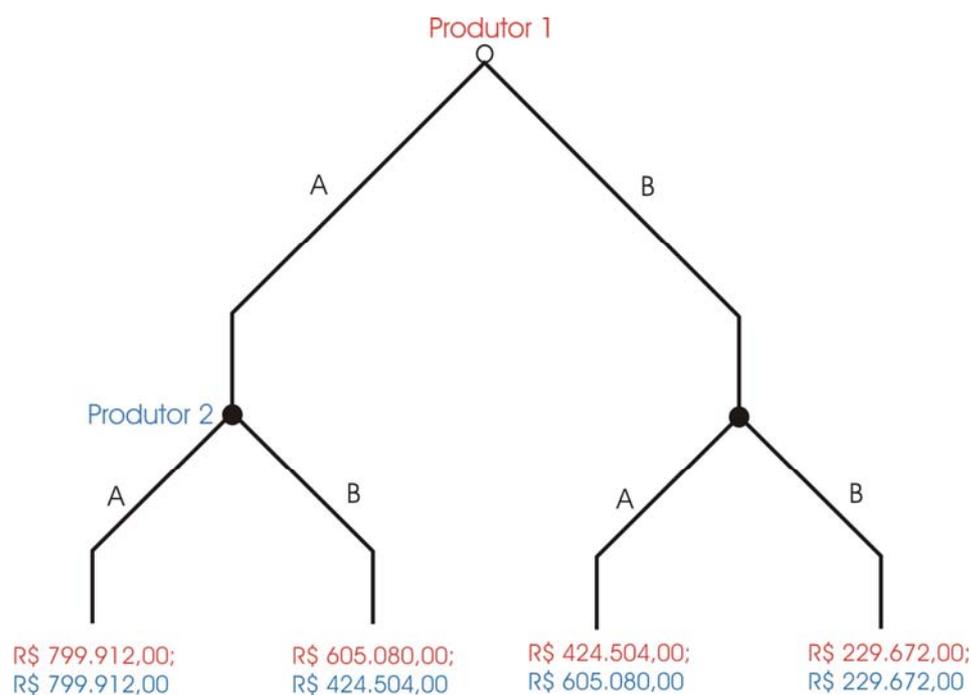


Figura 31 - Jogo sequencial, com informação completa e perfeita

Fonte: Resultados da pesquisa.

O jogador 1 possui duas estratégias (A e B) nesse jogo, enquanto o jogador 2 possui quatro estratégias (AA, AB, BA, e BB), que podem ser interpretadas como um plano de ação a cada decisão tomada por 1. Ambos possuem, no entanto, duas ações possíveis de serem tomadas.

O equilíbrio desse jogo (também conhecido como Equilíbrio de Nash Perfeito de Subjogos – ENPS<sup>34</sup>) é determinado por indução retroativa, ou seja, partindo dos subjogos de menor extensão para o jogo completo, e inferindo sobre as decisões dos jogadores.

Assim, se a informação for completa e perfeita, e partindo-se do menor subjogo (que é representado pela árvore de decisão que se inicia a partir do momento em que o jogador 2 é chamado a jogar), pode-se inferir que o jogador 2 escolhe a estratégia A se o jogador 1 escolher A, e escolhe B também se 1 escolher B. Inferindo sobre a escolha do jogador 2, o jogador 1 decide jogar A, porque o resultado de (A,A) é melhor que de (B,A), ou seja, R\$ 799.912,00 é maior que R\$ 605.080,00, e portanto (A,A) é o equilíbrio do jogo.

Nesse cenário, nenhum jogador pode criar ameaças para o outro, uma vez que o equilíbrio (A,A) é o que resulta no melhor resultado para ambos, de todas as situações possíveis. Porém, se por exemplo, o jogador 1 se engana e escolhe B, o jogador 2 pode escolher B também para punir o jogador 1 de não ter escolhido de maneira “correta”. Esta ameaça, no entanto, não é crível porque o jogador 2 também obtém um payoff menor do que se escolhesse A.

Da mesma forma que analisado para o jogo simultâneo, é possível, na forma estratégica, que o jogador 1 espere que o outro não vá adotar as medidas preventivas (por considerar que este não é suficientemente racional). Mesmo que o jogador 2 não seja racional, é melhor para esse jogar sempre A, dado que esta é sua estratégia dominante.

O resultado, portanto, não depende das expectativas dos jogadores sobre o comportamento e racionalidade do seu oponente. Decisões passadas, tomadas em situações semelhantes, influenciam as expectativas dos jogadores, dado que mostram como os jogadores costumam (ou costumavam) se comportar, mas como a estratégia dominante de ambos é vacinar o rebanho, eles não precisam olhar na estratégia de seus oponentes.

---

<sup>34</sup> Equilíbrio perfeito de subjogo é definido como um conjunto de estratégias que induz ao equilíbrio de Nash em todos os subjogos (OSBORNE, 2004, p. 166), ou seja, requer uma escolha racional em todos os subjogos e no jogo completo. Um subjogo de  $h$  é definido como a parte do jogo que resta depois que  $h$  ocorre, com  $h$  sendo qualquer nó do jogo (OSBORNE, 2004, p. 164). Uma outra interpretação dada por Osborne (2004) é que o equilíbrio perfeito de subjogo é aquele em que raramente os jogadores irão tomar ação diferente do equilíbrio, e assim depois de uma longa experiência, cada jogador forma expectativas corretas sobre as estratégias de seu oponente e sabe como ele irá se comportar em cada subjogo (mesmo que inicialmente ele não conheça as preferências do mesmo).

- Considerando um prêmio para animais não vacinados

Considerando, como simulado no jogo simultâneo, que os produtores obtêm um prêmio de 33% sobre o preço dos animais não vacinados (se ambos não vacinarem), os payoffs do jogo extensivo assumem os valores apresentados na Figura 32.

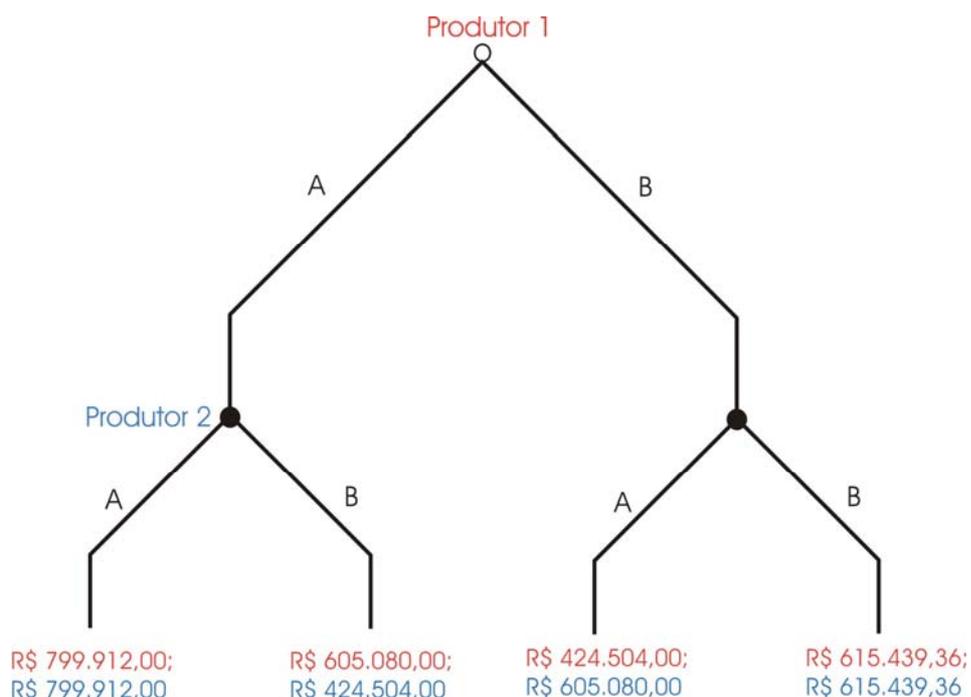


Figura 32 - Jogo sequencial, com informação completa e perfeita, e prêmio de 33% para animal não vacinado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por indução retroativa, e se a informação for completa e perfeita, verifica-se que o jogador 2 escolhe a estratégia A se o jogador 1 escolher A, e B se 1 escolher B. Inferindo sobre a escolha do jogador 2, o jogador 1 prefere jogar A, porque o resultado de (A,A) é melhor que de (B,B), ou seja, R\$ 799.912,00 é maior que R\$ 615.439,36, e portanto (A,A) é o equilíbrio do jogo.

Visualizando o mesmo jogo extensivo na forma estratégica (como na matriz de payoffs da Figura 28), verifica-se que (B,B) também é um equilíbrio de Nash para este jogo, dado que nenhum dos jogadores terá estímulo a desviar individualmente de sua estratégia dado que se encontram nessa situação. Esse equilíbrio, no entanto, não foi encontrado na forma extensiva,

dado que ele não é um Equilíbrio de Nash Perfeito de Subjogos - ENPS, ou seja, ele não é um equilíbrio estável robusto. Isso ocorre porque na forma estratégica, considera-se que as estratégias são traçadas por todos os jogadores antes do jogo se iniciar. Já na forma sequencial, considera-se que a decisão é ótima dada as decisões tomadas previamente, e não somente no início do jogo.

Nesse cenário, da mesma forma que na simulação que não considera o prêmio para a não vacinação, nenhum jogador pode criar ameaças para o outro, uma vez que o equilíbrio (A,A) é o que resulta no melhor resultado para ambos, de todas as situações possíveis. Porém, se por exemplo, o jogador 1 se engana e escolhe B, o jogador 2 pode escolher A para punir o jogador 1 de não ter escolhido de maneira “correta”. Esta ameaça, no entanto, não é crível porque o jogador 2 também obtém um *payoff* menor do que se escolhesse B, mas o resultado para o jogador 1 é pior que para o 2.

Pode ocorrer também de o jogador 1 esperar que o outro não vá adotar as medidas preventivas (por considerar que este não é suficientemente racional), e portanto ele decide também não adotar (que seria melhor do que se somente ele adotasse). Se o jogador 2, por sua vez, é de fato racional, deve escolher B se o 1 também o escolheu, o que lhe confere um *payoff* melhor dentro dos possíveis, e o resultado do jogo é (B,B).

O resultado, portanto, depende das expectativas dos jogadores sobre o comportamento e racionalidade do seu oponente. As decisões passadas tendem a mostrar como os jogadores costumam (ou costumavam) se comportar.

- Considerando um prêmio de 50% sobre o preço dos animais não vacinados

Considerando um prêmio de 50% sobre o preço dos animais para o caso dos produtores decidirem não vacinar, o equilíbrio perfeito de subjogos passa a ser a situação (B,B), como determinado pela matriz de *payoffs* apresentada na Figura 33.

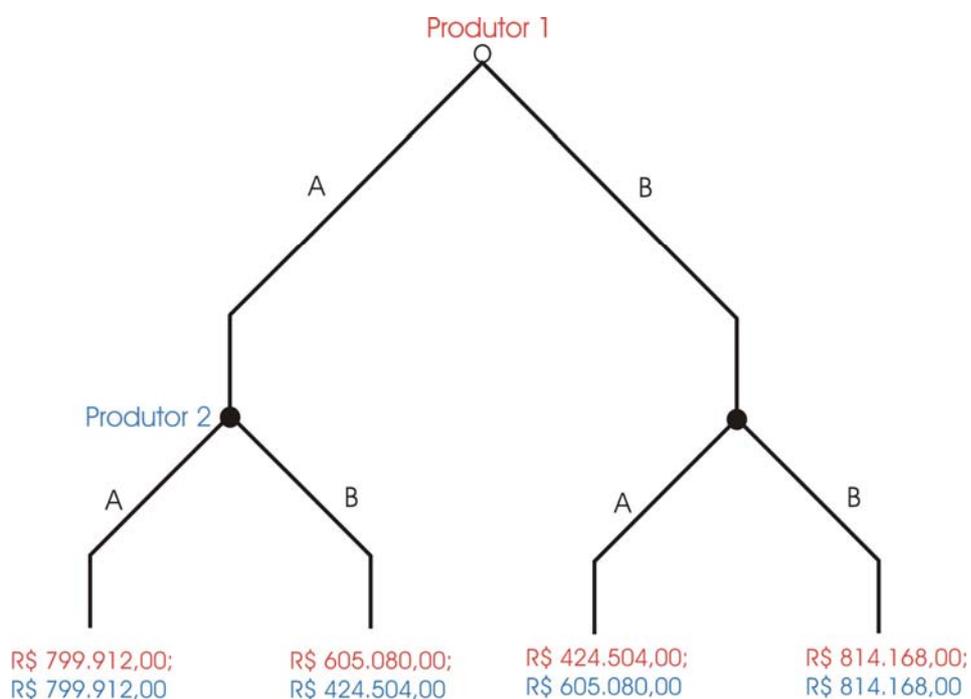


Figura 33 - Jogo sequencial, com informação completa e perfeita, e prêmio de 50% para animal não vacinado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nesse jogo, se o jogador 1 tomar a ação A, o jogador 2 também escolhe A; se o jogador 1 escolher B, 2 também escolhe B. Inferindo sobre a escolha de 2, o produtor 1 decide escolher B, dado que (B,B) lhe confere um payoff maior que (A,A).

Da mesma forma que na simulação anterior, se esse jogo fosse simultâneo ao invés de seqüencial, a situação (A,A) também seria um equilíbrio de Nash. Mas como o jogador 2 tem conhecimento sobre o que o jogador 1 decidiu, o ENPS (e nesse caso, a situação mais provável de ocorrer) é (B,B).

Essa situação, como já discutido, deve preocupar o governo, no sentido de buscar incentivos para que o equilíbrio tenda para a situação (A,A).

### 5.3.2.2 Jogo extensivo com informação completa e imperfeita

Um jogo extensivo com informação imperfeita representa uma situação em que cada jogador, quando chamado a jogar, não tem conhecimento sobre as ações tomadas previamente pelo(s) outro(s) jogador(es).

Para o caso aqui analisado, considerando o valor das variáveis do cenário base, e não considerando o prêmio para os animais não vacinados, o jogo na forma estratégica com informação imperfeita é representado na Figura 34.

A linha tracejada ligando os dois nós de decisão referentes ao produtor 2 indica que este não sabe em qual das duas situações se encontra, ou seja, não tem conhecimento da ação tomada previamente pelo jogador 1. Diz-se que ambos os nós estão no mesmo conjunto de informação.

Na verdade, para este jogo de maneira específica, o resultado encontrado é o mesmo de um jogo simultâneo representado na forma estratégica.

Resolvendo o jogo para encontrar o equilíbrio de Nash, verifica-se que o produtor 2 possui uma estratégia dominante, que é escolher a estratégia A. Em vista disso, é melhor para o produtor 1 também jogar A, e portanto o único ENPS é a situação (A,A), onde ambos vacinam seus animais.

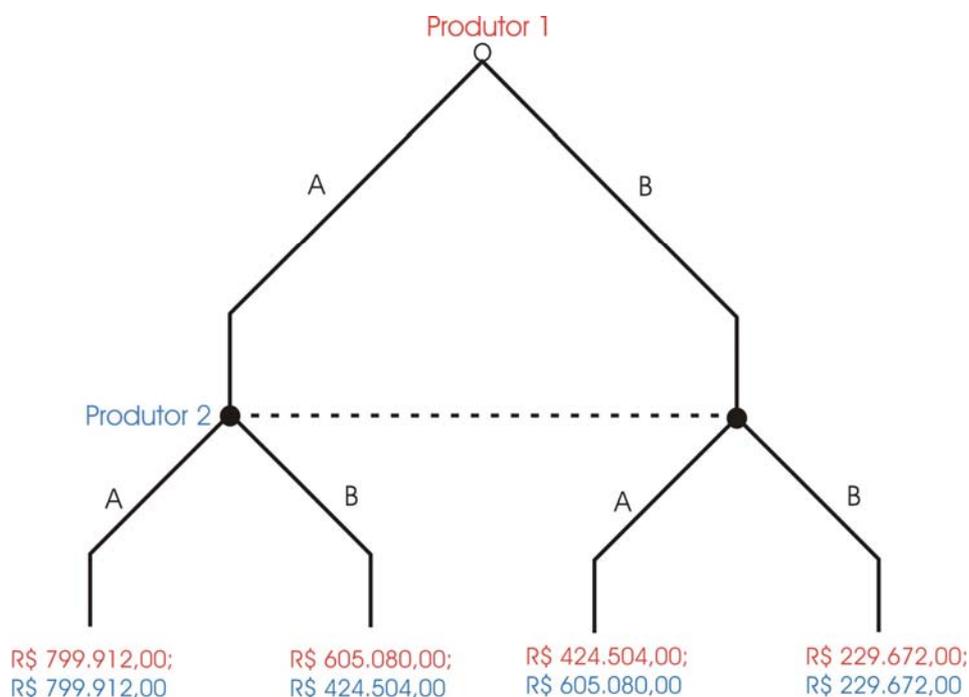


Figura 34 - Jogo sequencial, com informação completa e imperfeita

Fonte: Resultados da pesquisa.

Se o produtor 2 não tivesse uma estratégia dominante, como no jogo representado na Figura 35 (onde um prêmio de 33% é oferecido sobre o preço dos animais não vacinados), a indução retroativa falha, e portanto não é trivial encontrar o equilíbrio de Nash em estratégias puras desse jogo representado na forma extensiva. A representação na forma estratégica facilita a determinação do Equilíbrio de Nash, e a matriz de payoffs correspondente à esse jogo é a mesma representada na Figura 28, na simulação de um jogo simultâneo.

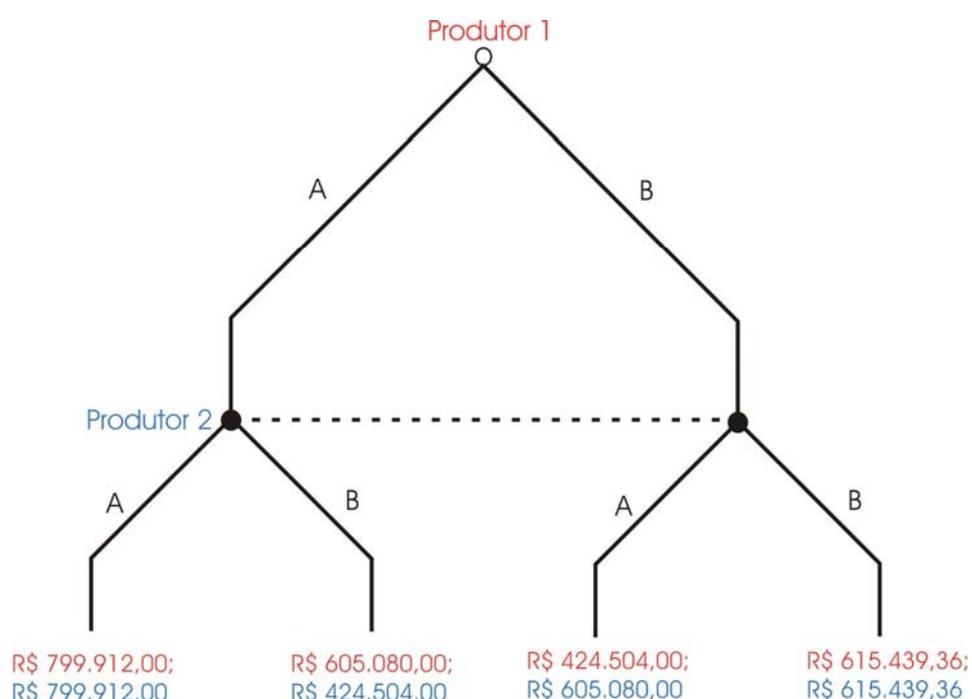


Figura 35 - Jogo sequencial, com informação completa e imperfeita, e prêmio para animais não vacinados

Fonte: Resultados da pesquisa.

Pela matriz de payoffs da Figura 28, determina-se que (A,A) e (B,B) são equilíbrios de Nash, sendo ambos ENPS<sup>35</sup>.

Apontar, no entanto, qual dos dois equilíbrios é mais provável de ocorrer, depende das expectativas dos jogadores a respeito da decisão do seu oponente, as quais são baseadas nas decisões tomadas em períodos anteriores. Se o jogador 2 acredita que o jogador 1 escolherá a estratégia B, ele também escolherá B, e o contrário se acreditar que 1 escolherá A.

<sup>35</sup> Como este jogo não tem subjogos, todo equilíbrio é perfeito de subjogo.

Se, por exemplo, o produtor 2 acredita que o produtor 1 tenha decidido pela estratégia A com probabilidade  $2/3$  e B com probabilidade  $1/3$ , ele deve decidir jogar A, tomando como base a média ponderada de seus *payoffs* ao escolher as estratégias A ou B. Se o jogador 1 também acredita que o jogador 2 escolherá A, o equilíbrio do jogo será (A,A).

O que se verifica nas simulações propostas é que se o produtor 2 acredita que o produtor 1 escolherá A com uma probabilidade maior que 3%, é melhor para ele também escolher A. Como a matriz de *payoffs* é simétrica, pode-se dizer o mesmo do jogador 1, ou seja, se ele acredita que o jogador 2 escolherá A com probabilidade maior que 3%, ele também escolhe A, e o equilíbrio do jogo será portanto (A,A). Se ambos acreditam que o outro escolherá A com probabilidade menor que 3%, o equilíbrio passa a ser (B,B).

### 5.3.2.3 Jogo estratégico com informação incompleta

Um jogo estratégico com informação incompleta é também chamado de jogo Bayesiano. Nesse caso, os jogadores não têm certeza sobre as preferências e/ou função de *payoffs* de seus oponentes, inferindo, a partir de *sinais* ou *indicações* que o seu oponente demonstra, sobre as possibilidades.

De maneira analítica, o jogador que não tem certeza sobre a função de *payoff* de seu oponente deve levar em consideração todas as possibilidades para essa variável de decisão, ou seja, deve considerar os *tipos* de jogador que seu oponente pode ser, ou *estados* que pode assumir, e as probabilidades de que estes estados sejam verdadeiros. O equilíbrio de Nash, nesse caso, é a melhor resposta de cada jogador a cada “tipo” de oponente (OSBORNE, 2004).

É relevante pressupor um jogo com estas características visto que estas se aproximam da realidade, onde os produtores não têm conhecimento perfeito da estrutura produtiva de seus concorrentes.

No jogo proposto no presente trabalho, pode ocorrer, por exemplo, de um dos jogadores não conhecer a função de custo de seu oponente. Assim, pode-se pressupor que o jogador 1 não sabe se os custos de produção  $c_{o2}$  do jogador 2 são relativamente altos ou baixos. O jogador 2, porém, conhece a função de custo do jogador 1, da mesma forma que ambos conhecem sua própria função de custo. Nesse caso, propõe-se como exemplo para análise o seguinte jogo simultâneo:

*Jogadores (i):* produtores 1 e 2.

*Estados (ou tipos):* o conjunto dos possíveis estados são: custo de produção ( $c_{o2}$ ) elevado para o jogador 2 (estado  $y$ ) e custo baixo para o jogador 2 (estado  $n$ ), considerando que o jogador 1 não sabe a qual desses dois o jogador 2 pertence. Para o jogador 1 existe apenas um estado, conhecido por ambos, que no primeiro caso aqui apresentado será de custo baixo.

*Ações:* adotar ( $A$ ) ou não adotar ( $B$ ) as ações de prevenção.

*Sinalização*<sup>36</sup>: O jogador 1 (que não conhece os custos de 2) pode receber uma indicação chamada  $z$  do jogador 2; sua função de sinal  $\tau_1$  satisfaz  $\tau_1(y) = \tau_1(n) = z$ , significando que essa indicação  $z$  é não-informativa e não permite que o jogador 1 tenha certeza sobre o estado do jogador 2 (se é  $y$  ou  $n$ ). O jogador 2 (que conhece os custos de ambos) recebe um de dois possíveis sinais, chamados  $m$  e  $v$ ; a função de sinal  $\tau_2$  satisfaz  $\tau_2(y) = m$  e  $\tau_2(n) = v$ , significando que o jogador 2 terá certeza sobre o seu estado ( $y$  ou  $n$ ).

*Crenças:* o jogador 1 atribui probabilidade ( $x$ ) para o estado  $y$  e probabilidade ( $1-x$ ) para o estado  $n$ , depois de receber o sinal  $z$ . O jogador 2 atribui probabilidade 1 para o estado  $y$  depois de receber o sinal  $m$ , e atribui probabilidade 1 para o estado  $n$  depois de receber o sinal  $v$ . Em outras palavras, o jogador 1 acredita com probabilidade ( $x$ ) que os custos de 2 são altos e com probabilidade ( $1-x$ ) que são baixos, e o jogador 2 conhece de fato os seus custos, e sabe de qual estado se trata.

*Payoffs:* os payoffs de cada jogador  $i$  para todos os pares possíveis de ações e estados são apresentados na Figura 36. Como exemplo, pressupõe-se que o jogador 1 não tem certeza se os outros custos de produção de seu oponente são de R\$ 487,00/cabeça<sup>37</sup> ( $c_{o2y}$ , que é o estado onde o custo é mais elevado) ou R\$ 320,00/cabeça ( $c_{o2n}$ , que é o estado onde o custo é mais baixo); já o produtor 2 sabe se o custo de 1 é elevado ou baixo. Pressupõe-se ainda que a probabilidade ( $x$ ) é 0,5 e conseqüentemente ( $1-x$ ) também é 0,5, ou seja, o produtor 1 atribui a mesma probabilidade para os estados  $y$  e  $n$  do produtor 2. Considera-se, para as outras variáveis, os mesmos valores adotados no cenário base (no item 5.3.1).

<sup>36</sup> Pode-se dizer que inicialmente ambos os jogadores não conhecem sua função de custo, nem a de seu oponente, ou seja, não sabem se são elevados ou baixos. Após receber um tipo de sinalização, o jogador 2 consegue saber de que situação se trata, ou seja, sabe para ambos os jogadores se eles possuem custos elevados ou baixos; o jogador 1 por sua vez recebe um sinal não-informativo, do qual não consegue distinguir qual o tipo de função de custo do jogador 2. O jogador 1 somente consegue, através do sinal, formar uma crença sobre a chance de seu oponente ter custos elevados ou baixos. Por isso, o jogador 1 precisa tecer suas estratégias para cada tipo de função de custo do jogador 2, e o jogador 2 deve planejar suas ações para cada tipo de sinal que receber.

<sup>37</sup> Custo variável do sistema de recria-engorda referente à região de Umuarama-PR.

Se o custo do jogador 1 é baixo (R\$ 320,00/cabeça), e dado que o jogador 2 tem esse conhecimento, a matriz de *payoffs* é apresentada na Figura 36. A moldura denominada 2, envolvendo ambos os quadros separadamente, indica que o jogador 2 sabe qual matriz de *payoffs* é a verdadeira (ou seja, tem conhecimento sobre seu próprio custo). A moldura denominada 1 envolvendo os dois quadros simultaneamente indica que o jogador 1 não sabe qual matriz de *payoffs* é a verdadeira.

		Prob 1/2						Prob 1/2			
		2						2			
		Produtor 2									
		A				B					
Produtor 1	A	R\$ 799.912,00	R\$ 403.120,00	R\$ 605.080,00	R\$ 27.712,00	R\$ 799.912,00	R\$ 799.912,00	R\$ 605.080,00	R\$ 424.504,00		
	B	R\$ 424.504,00	R\$ 208.288,00	R\$ 229.672,00	-R\$ 167.120,00	R\$ 424.504,00	R\$ 605.080,00	R\$ 229.672,00	R\$ 229.672,00		
		Estado y				Estado n					

Figura 36 - Matriz de *payoffs* para o jogo em que o jogador 1 não tem certeza sobre a função de custo de seu oponente

Fonte: Resultados da pesquisa.

Se num jogo estratégico cada jogador escolhe uma ação, num jogo bayesiano cada um deles escolhe uma coleção de ações, sendo uma ação para cada tipo ou estado de jogador (custo alto ou custo baixo). Assim, num equilíbrio de Nash desse tipo de jogo, a ação escolhida por cada tipo de jogador é ótima, dadas as ações escolhidas por todos os tipos de todos os outros jogadores (OSBORNE, 2004, p. 281).

No jogo definido neste cenário, existe um tipo para o jogador 1 e dois tipos para o jogador 2 e, portanto, o equilíbrio de Nash em estratégias puras possui três ações, uma para o jogador 1 e duas para o jogador 2 (que é uma para cada tipo ou estado do jogador 2). Por exemplo, (X,(X,Y)) corresponde ao equilíbrio onde o jogador 1 escolhe a ação X, e o jogador 2 escolhe X no primeiro estado e Y no segundo.

Para se encontrar o(s) equilíbrio(s) de Nash desse jogo, é necessário que se construa para o jogador 1 uma matriz com os *payoffs* esperados a cada ação sua, para os quatro possíveis pares de ações referentes aos dois estados de seu oponente. Na figura 37, cada linha corresponde à uma ação do jogador 1, e cada coluna corresponde ao par de ações para os dois estados do jogador 2, e

os *payoffs* foram calculados de acordo com as probabilidades atribuídas aos estados  $y$  e  $n$  pelo produtor 1.

Nesse caso, trata-se os dois tipos do jogador 2 como jogadores diferentes e analisa-se a situação como um jogo estratégico com três jogadores, em que a função de payoff do jogador 1 (na Figura 37) é uma função das ações dos outros dois jogadores (ou seja, dos dois tipos de jogador 2). O payoff de cada tipo de jogador 2 é independente das ações do outro tipo, mas depende da ação do jogador 1 (como apresentado na Figura 36, onde a tabela esquerda indica o jogador 2 que tem custo elevado e o da direita o jogador 2 que tem custo baixo).

		Produtor 2			
		(A,A)	(A,B)	(B,A)	(B,B)
Produtor 1	A	R\$ 799.912,00	R\$ 702.496,00	R\$ 702.496,00	R\$ 605.080,00
	B	R\$ 424.504,00	R\$ 327.088,00	R\$ 327.088,00	R\$ 229.672,00

Figura 37 - Payoffs esperados para o jogador 1, para os quatro possíveis pares de ação dos dois tipos de jogador 2

Fonte: Resultados da pesquisa.

No equilíbrio de Nash, a ação do jogador 1 deve ser a melhor resposta, na Figura 37, ao par de ações dos dois tipos de jogador 2; a ação do jogador 2 que tem custo elevado deve ser a melhor resposta na tabela esquerda da Figura 36 à ação do jogador 1; e a ação do jogador 2 que tem custo baixo deve ser a melhor resposta na tabela direita da Figura 36 à ação do jogador 1.

Seguindo essa análise, verifica-se que  $(A,(A,A))$  é o único equilíbrio de Nash. Dada as ações  $(A,A)$  dos dois tipos de jogador 2 (na Figura 37), a escolha ótima do jogador 1 é A; dado que o jogador 1 escolhe A como ação a ser tomada, A será a escolha ótima para o jogador 2 que tem custo elevado e também para o jogador 2 que tem custo baixo (na Figura 36, matriz de *payoffs* esquerda e direita, respectivamente).

Alterando-se a crença do jogador 1 sobre os custos do jogador 2, ou seja, a probabilidade de o jogador 2 ter custos elevados ou baixos, o resultado não se altera. Para qualquer nível de certeza do produtor 1 sobre a função de custos do produtor 2, o Equilíbrio de Nash será  $(A,(A,A))$ .

Se os custos do produtor 1 também forem elevados (R\$ 487,00/cabeça), o equilíbrio de Nash também será o mesmo, ou seja, ambos os jogadores decidem adotar as ações preventivas.

Portanto, se um dos jogadores não conhece os custos do seu oponente, mas um deles conhece o de ambos, o equilíbrio do jogo é a situação em que ambos tomam ações preventivas voluntárias contra a febre aftosa. Esse resultado já se era esperado, visto que nas primeiras simulações realizadas, apresentadas no Quadro 3, verificou-se que a variação no custo de produção não altera o equilíbrio do jogo.

Na prática, esse modelo pode ser utilizado por um produtor para inferir qual seria sua melhor decisão quando este não conhece a estrutura de produção de seu oponente, mas possui crenças a respeito. Buscando identificar as possíveis decisões de seu oponente, ele adota a sua estratégia.

Pode-se considerar numa segunda simulação para esse mesmo modelo que o produtor 1 não tem conhecimento sobre o custo de prevenção ( $c_{p2}$ ) do jogador 2, para determinar se ocorre alguma alteração no equilíbrio do jogo. Porém, como também verificado nas simulações iniciais, o equilíbrio se altera somente se o custo de prevenção é superior a R\$ 164,00/cabeça, o que é um valor consideravelmente elevado para o caso da febre aftosa.

Pressupondo que isso pode ocorrer, ou seja, que o produtor 1 acredita com probabilidade 0,5 que o produtor 2 tenha um custo de prevenção de R\$ 165/cabeça e com probabilidade 0,5 de que seu custo seja abaixo de R\$ 165/cabeça, o equilíbrio passa a ser o conjunto de estratégias (A,(B,A)). Isso indica que se o produtor 2 pertencer ao estado  $y$ , ou seja, se tiver custos de prevenção superiores a R\$ 165/cabeça, ele decide não vacinar seu rebanho, mas se tiver custos abaixo desse valor ele decide vacinar, enquanto para o produtor 1 é sempre melhor vacinar.

Numa terceira simulação, se os produtores receberem um prêmio de 33% sobre o preço dos animais se não adotarem as medidas preventivas, o resultado do jogo também se altera. A matriz de *payoffs* para este caso é apresentada na Figura 38, e os *payoffs* esperados para o jogador 1 são apresentados na Figura 39.

		Prob 1/2						1				Prob 1/2			
		2						2							
		Produtor 2													
		A				B									
Produtor	A	R\$ 799.912,00	R\$ 403.120,00	R\$ 605.080,00	R\$ 27.712,00	Produtor	A	R\$ 799.912,00	R\$ 799.912,00	R\$ 605.080,00	R\$ 424.504,00				
1	B	R\$ 424.504,00	R\$ 208.288,00	R\$ 615.439,36	R\$ 218.647,36	1	B	R\$ 424.504,00	R\$ 605.080,00	R\$ 615.439,36	R\$ 615.439,36				
Estado y						Estado n									

Figura 38 - Matriz de payoffs para o jogo em que o jogador 1 não tem certeza sobre a função de custo de seu oponente, considerando prêmio para animal não vacinado

Fonte: Resultados da pesquisa.

		Produtor 2			
		(A,A)	(A,B)	(B,A)	(B,B)
Produtor 1	A	R\$ 799.912,00	R\$ 702.496,00	R\$ 702.496,00	R\$ 605.080,00
	B	R\$ 424.504,00	R\$ 519.971,68	R\$ 519.971,68	R\$ 615.439,36

Figura 39 - Payoffs esperados para o jogador 1, para os quatro possíveis pares de ação dos dois tipos de jogador 2, considerando prêmio para animal não vacinado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Buscando o equilíbrio de Nash, verifica-se que se o jogador 2 adotar a estratégia (A,A), a escolha ótima do jogador 1 é A (na Figura 39); dado que o jogador 1 escolhe A como ação a ser tomada, A será a escolha ótima para o jogador 2 que tem custo elevado e também para o jogador 2 que tem custo baixo (na Figura 38, matriz de *payoffs* da esquerda e da direita, respectivamente). Portanto (A,(A,A)) é um equilíbrio de Nash.

Se o produtor 2 escolher a estratégia (B,B), no entanto, é melhor para o produtor 1 também escolher B (na Figura 39). Se 1 escolhe B, o produtor 2 escolhe B para seus dois tipos (na Figura 38). E portanto (B,(B,B)) também é um equilíbrio de Nash.

Esse jogo possui, assim, dois equilíbrios de Nash equiprováveis, que é o mesmo resultado encontrado para o cenário onde ambos tinham informação completa sobre os *payoffs* e preferências de seus oponentes, sugerindo a necessidade de intervenção do governo para buscar o resultado em que ambos decidem vacinar.

- Informação incompleta sobre custos por parte dos dois produtores

Pressupondo um contexto mais complexo, e mais próximo da realidade, considera-se a situação onde nenhum dos dois jogadores tem certeza sobre a função de custo de seu oponente,

cada um conhecendo apenas a sua função de custo. Para esse caso, propõe-se o seguinte jogo simultâneo:

*Jogadores (i)*: produtores 1 e 2.

*Estados (ou tipos)*: o conjunto dos possíveis tipos são: custo de produção ( $c_{oi}$ ) elevado para ambos ( $yy$ ); custo elevado para o jogador 1 e baixo para o 2 ( $yn$ ); custo baixo para 1 e elevado para 2 ( $ny$ ); custo baixo para ambos ( $nn$ ).

*Ações*: adotar ( $A$ ) ou não adotar ( $B$ ) as ações de prevenção.

*Sinalização*<sup>38</sup>: O jogador 1 recebe os sinais  $y_1$  e  $n_1$  sobre a provável característica da função de *payoff* do jogador 2, que satisfazem as seguintes funções de sinal:  $y_1 = \tau_1(yy) = \tau_1(yn)$  e  $n_1 = \tau_1(ny) = \tau_1(nn)$ ; e o jogador 2 recebe os sinais  $y_2$  e  $n_2$  sobre a provável característica da função de *payoff* do jogador 1, que satisfazem as seguintes funções de sinal:  $y_2 = \tau_2(yy) = \tau_2(ny)$  e  $n_2 = \tau_2(yn) = \tau_2(nn)$ .

*Crenças*: o jogador 1 atribui probabilidade ( $x$ ) para o estado  $yy$  e  $(1-x)$  para  $yn$ , depois de receber o sinal  $y_1$ , pressupondo também probabilidade ( $x$ ) para o estados  $ny$  e  $(1-x)$  para o estado  $nn$ , depois de receber o sinal  $n_1$ . Da mesma forma, o jogador 2 atribui probabilidade ( $z$ ) para o estado  $yy$  e  $(1-z)$  para o estado  $ny$ , depois de receber o sinal  $y_2$ , e atribui probabilidade ( $z$ ) para o estado  $yn$  e  $(1-z)$  para o estado  $nn$ , depois de receber o sinal  $n_2$ .

*Payoffs*: os *payoffs* de cada jogador  $i$  para todos os possíveis estados são apresentados na Figura 40. Como exemplo, pressupõe-se que ambos os jogadores não têm certeza se o custo de produção de seu oponente é R\$ 487,00/cabeça ( $c_{oiy}$ , que é o estado onde o custo é mais elevado) ou R\$ 320,00/cabeça ( $c_{oin}$ , que é o estado onde o custo é mais baixo), considerando o valor das outras variáveis os mesmos adotados no cenário base do item 5.3.1.

Pressupõe-se, a título de exemplo, que o jogador 1 acredita com mesma probabilidade que os custos de 2 são altos ou baixos ( $x = 1-x = 0,5$ ). Já o jogador 2 acredita que os custos de 1 têm maior chance de serem elevados, com  $2/3$  de probabilidade, ou seja,  $z = 2/3$  e  $(1-z) = 1/3$ .

Na ilustração apresentada na Figura 40, o quadro denominado 1: $y_1$  envolve os estados que geram o sinal  $y_1$  para o jogador 1, e o quadro denominado 1: $n_1$  envolve os estados que geram o sinal  $n_1$  para o jogador 1; relação semelhante pode ser feita para os quadros 2: $y_2$  e 2: $n_2$  para o

<sup>38</sup> Nesse caso o jogador 1 não consegue distinguir entre os estados  $yy$  e  $yn$  (em que ele possui custos elevados, mas não sabe dos custos do jogador 2) e entre os estados  $ny$  e  $nn$  (em que ele possui custos baixos, mas também não tem conhecimento sobre os custos de 2); de maneira semelhante, o jogador 2 não consegue distinguir entre os estados  $yy$  e  $ny$  e entre  $yn$  e  $nn$ .

jogador 2. Os números aparecendo sobre os quadros são as probabilidades atribuídas ao respectivo estado por cada jogador  $i$ .

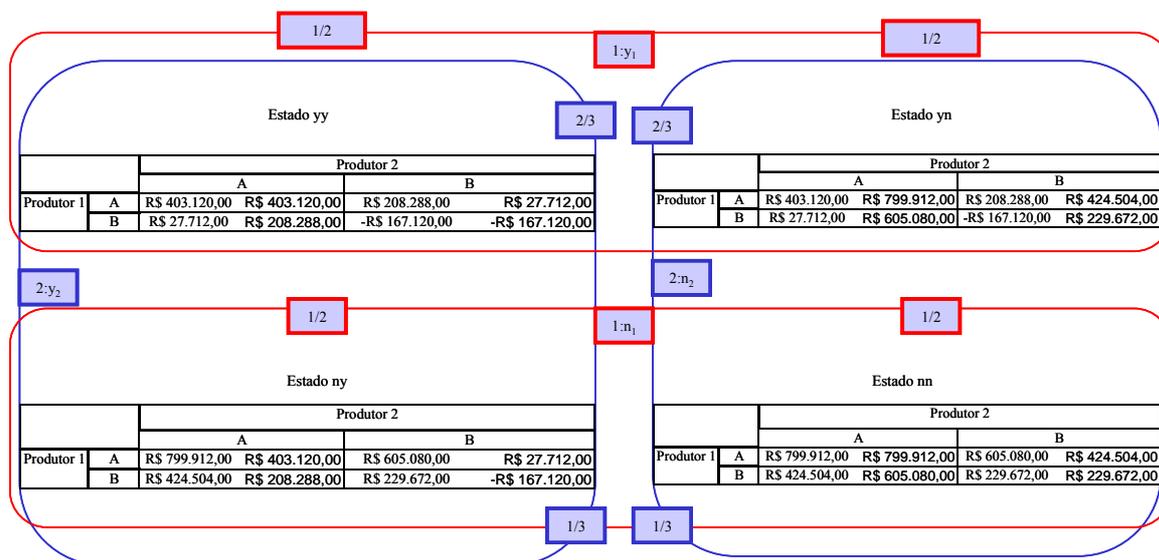


Figura 40 - Matriz de payoffs para o jogo em que ambos os jogadores não têm certeza sobre a função de custo de seu oponente

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nesse jogo, existem quatro tipos de jogador – dois tipos para o jogador 1 e dois tipos para o jogador 2 -, e portanto o equilíbrio de Nash em estratégias puras possui quatro ações, uma para cada tipo de jogador. Para se encontrar o(s) equilíbrio(s) de Nash, é necessário que se construa, para cada jogador, uma matriz com os payoffs esperados de acordo com os pares de ações para os dois possíveis estados de seu oponente, e as probabilidades atribuídas aos possíveis estados (Figura 41).

Na figura 41, nas matrizes de *payoff* superiores, cada linha corresponde à ação de cada tipo do jogador 1, e cada coluna corresponde ao par de ações para os dois tipos do jogador 2. Nos quadros inferiores, as linhas mostram as ações possíveis para cada tipo do jogador 2, e cada coluna corresponde ao par de ações para os dois tipos do jogador 1.

para o tipo  $y_1$

	(A,A)	(A,B)	(B,A)	(B,B)
A	R\$ 403.120,00	R\$ 305.704,00	R\$ 305.704,00	R\$ 208.288,00
B	R\$ 27.712,00	-R\$ 69.704,00	-R\$ 69.704,00	-R\$ 167.120,00

para o tipo  $y_2$

	(A,A)	(A,B)	(B,A)	(B,B)
A	R\$ 403.120,00	R\$ 338.176,00	R\$ 273.232,00	R\$ 208.288,00
B	R\$ 27.712,00	-R\$ 37.232,00	-R\$ 102.176,00	-R\$ 167.120,00

para o tipo  $n_1$

	(A,A)	(A,B)	(B,A)	(B,B)
A	R\$ 799.912,00	R\$ 702.496,00	R\$ 702.496,00	R\$ 605.080,00
B	R\$ 424.504,00	R\$ 327.088,00	R\$ 327.088,00	R\$ 229.672,00

para o tipo  $n_2$

	(A,A)	(A,B)	(B,A)	(B,B)
A	R\$ 799.912,00	R\$ 734.968,00	R\$ 670.024,00	R\$ 605.080,00
B	R\$ 424.504,00	R\$ 359.560,00	R\$ 294.616,00	R\$ 229.672,00

Figura 41 - Payoffs esperados para os dois tipos de cada jogador, para os quatro possíveis pares de ação dos dois tipos de seu oponente

Fonte: Resultados da pesquisa.

Como na simulação anterior, o equilíbrio de Nash nesse jogo é a situação  $((A,A),(A,A))$ , ou seja, ambos os jogadores adotam as medidas preventivas, independente se possuem custos elevados ou baixos. Para verificar isso, basta notar que na Figura 41, a melhor resposta dos tipos  $y_1$  e  $n_1$  do jogador 1 (nas duas matrizes superiores) à ação  $(A,A)$  do jogador 2 é  $(A,A)$ . Na Figura 40, se  $y_1$  e  $n_1$  escolhem  $A$ , os dois tipos de jogador 2 escolhem  $(A,A)$ . Considerando agora os dois tipos de jogador 2 ( $y_2$  e  $n_2$ ), suas melhores respostas à ação  $(A,A)$  do jogador 1 são  $(A,A)$  (na Figura 41, nas duas matrizes inferiores). Se os tipos  $y_2$  e  $n_2$  do jogador 2 escolhem  $(A,A)$ , a melhor resposta de 1 é escolher  $(A,A)$  (na Figura 40) e portanto  $((A,A),(A,A))$  é o único equilíbrio de Nash.

Alterando-se as crenças de ambos os jogadores sobre os custos de seu oponente, ou seja, as probabilidades do outro jogador ter custos elevados ou baixos, o equilíbrio não se altera.

O que se verifica, portanto, é que se um produtor ou ambos os produtores não conhecem as funções de custo de seu oponente num jogo simultâneo, o equilíbrio de Nash é a situação onde todos adotam as medidas preventivas contra febre aftosa (dados os valores de probabilidade de infecção assumidos na simulação).

Pressupondo um prêmio de 33% sobre o preço dos animais no caso de nenhum dos produtores vacinar seu rebanho, o jogo possui dois equilíbrios de Nash, os quais são  $((A,A),(A,A))$  e  $((B,B),(B,B))$ , como no caso em que apenas um dos produtores não conhece ao certo os custos de seu oponente.

#### **5.3.2.4 Jogos repetitivos**

Considera-se nesse caso que os produtores interagem repetidamente no mesmo jogo ao longo do tempo. Assim, suas decisões não são tomadas uma única vez, mas são revistas a cada período, podendo ser alteradas ou mantidas. Em alguns jogos não cooperativos (como do tipo dilema dos prisioneiros), a suposição de que os jogos se repetem no tempo pode estimular os jogadores a buscarem a cooperação, o que não aconteceria se o jogo fosse jogado uma única vez.

No jogo estratégico aqui proposto, e considerando a matriz de payoffs do cenário base (Figura 26), verifica-se que o equilíbrio de Nash em estratégias dominantes é  $(A,A)$ , e portanto independente do que o seu oponente decidir, os jogadores obtêm um payoff maior se decidirem vacinar seu rebanho.

Assim, se o jogo for repetitivo (finito ou infinito), e mesmo que um jogador decida não cooperar no período  $t$  (não vacinando seu rebanho), será sempre melhor para o outro jogador adotar as medidas preventivas nos períodos seguintes, e então (A,A) também é o único equilíbrio de Nash do jogo repetitivo.

Já para o jogo apresentado na Figura 28, onde um prêmio de 33% é oferecido sobre o preço dos animais não vacinados, tanto (A,A) como (B,B) são equilíbrios do jogo estratégico.

Considerando o mesmo jogo da Figura 28, porém repetitivo (finito ou infinito), o equilíbrio passa a ser a chamada “*trigger strategy*” para ambos os produtores, onde um jogador escolhe sempre a mesma ação até o momento em que o seu oponente muda sua estratégia<sup>39</sup>. Assim, do ponto de vista do produtor 1, este escolherá sempre A enquanto o produtor 2 escolher A. Se 2 mudar sua estratégia para B, será melhor para 1 também mudar para B, e vice-versa para o produtor 2.

Iniciando a análise a partir do resultado (B,B), verifica-se que enquanto o produtor 2 estiver jogando B, é melhor para o produtor 1 também escolher B. Se 2 altera sua estratégia e decide por tomar a ação A, é melhor para 1 também jogar A nos períodos subsequentes.

Vale lembrar que dentre esses possíveis resultados, (A,A) é melhor que (B,B) para ambos os produtores, ou seja, é Pareto eficiente, mas isso não garante a sua ocorrência, visto que os dois equilíbrios são estáveis.

### **5.3.3 Análise empírica das estratégias e determinação do equilíbrio no cenário com a intervenção do governo**

As simulações realizadas nas seções anteriores mostram que, com exceção para os casos em que um prêmio de pelo menos 33% é pago sobre o preço dos animais não vacinados (quando todos os produtores decidem não vacinar) e em que a diferença da probabilidade de infecção entre animais vacinados e não vacinados for muito pequena (praticamente nula), o equilíbrio do jogo tende para a situação onde ambos os produtores decidem adotar as medidas preventivas, e portanto teoricamente não seria necessária a intervenção do governo para tornar obrigatória a adoção de tais medidas.

---

<sup>39</sup> Num jogo repetitivo do tipo “dilema dos prisioneiros”, pode-se dizer que um jogador que adota a “*trigger strategy*” decide cooperar até o momento em que seu oponente coopera, e deixa de cooperar nos períodos subsequentes se este se desvia do resultado cooperativo.

Na realidade, o que se percebe, no entanto, é que o governo brasileiro acaba por instituir medidas de incentivo à adoção de práticas de prevenção, por se tratar de uma questão de segurança sanitária que, uma vez falha gera grande impacto na economia do país, e especialmente em âmbito regional.

Dessa forma, será simulado um cenário onde o governo institui uma multa de R\$ 28,60/cabeça para o produtor que não vacinar seu rebanho, com uma probabilidade  $s$ , definida hipoteticamente, do governo constatar que de fato o rebanho não foi vacinado quando a doença não ocorre. Além disso, uma indenização equivalente ao valor de mercado dos animais doentes abatidos é paga ao produtor que eventualmente tenha seu rebanho infectado pelo vírus da febre aftosa, e que comprovadamente tenha vacinado seu rebanho.

Da mesma forma que na simulação sem a intervenção do governo, pressupõe-se que os produtores maximizam suas funções de lucro (apresentadas na Figura 18), a partir das quais tem-se a matriz de *payoffs* teórica da Figura 24, no item 5.2.

Considerando-se a função de custo e as variáveis adotadas no cenário base das simulações sem a intervenção do governo (item 5.3.1), e ainda uma probabilidade  $s$  de 50% de o governo detectar que o produtor não vacinou seu rebanho, tem-se a matriz de *payoffs* aplicada da Figura 42.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 994.744,00	R\$ 994.744,00	R\$ 994.744,00	R\$ 380.334,16
	B	R\$ 380.334,16	R\$ 994.744,00	R\$ 182.104,48	R\$ 182.104,48

Figura 42 - Matriz de payoffs da análise empírica, com intervenção do governo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Como esperado, o equilíbrio do jogo em estratégias dominantes é a situação (A,A), visto que no jogo sem a intervenção do governo e portanto sem incentivo para a vacinação, o equilíbrio já era esse.

Se a probabilidade de o governo detectar que o produtor não vacinou for nula, ainda assim o equilíbrio é (A,A), e até mesmo se o governo não fornecer indenização aos produtores cujos animais contraíram a doença, o que já era esperado com base nos resultados do modelo sem intervenção governamental.

O equilíbrio muda somente se houver um prêmio de pelo menos 70% sobre os preços dos animais quando não há vacinação (mantendo a indenização no valor de mercado do animal e uma probabilidade de 50% do governo detectar que não houve vacinação), quando a situação (B,B) também passa a ser um equilíbrio de Nash, além de (A,A), conforme se verifica através da Figura 43.

		Produtor 2			
		A		B	
Produtor 1	A	R\$ 994.744,00	R\$ 994.744,00	R\$ 994.744,00	R\$ 380.334,16
	B	R\$ 380.334,16	R\$ 994.744,00	R\$ 1.000.398,88	R\$ 1.000.398,88

Figura 43 - Matriz de payoffs da análise empírica, com intervenção do governo, e prêmio de 70% para animais não vacinados

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nesse caso, o governo deveria aumentar o valor da indenização (em pelo menos R\$ 15,00/cabeça) ou da multa (em pelo menos R\$ 4,40/cabeça), ou melhorar a fiscalização em relação à vacinação (aumentando a probabilidade  $s$  em pelo menos 14 pontos percentuais) para que o único equilíbrio volte a ser (A,A).

## 6 CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido no presente trabalho mostrou-se adequado para a análise e interpretação de possíveis ações estratégicas associadas a casos de doença em animais cujas implicações econômicas são expressivas, e onde a prevenção da enfermidade seja alvo de controvérsias, envolvendo questões científicas e econômicas. Diversos aspectos, assumindo ou não a intervenção governamental, podem ser explorados para o delineamento de ações estratégicas para o setor. O exercício dedutivo se mostra de grande valia para interpretar ações e reações dos produtores em diferentes contextos.

Pela ótica do produtor, por exemplo, o modelo utilizado mostrou-se próprio para o delineamento de ações estratégicas em relação à prevenção. Deve-se atentar ao fato de que algumas pressuposições assumidas no seu desenvolvimento podem ser consideradas fortes, tais como a definição de uma função de custo quadrática, homogeneidade da estrutura produtiva entre os produtores, e a pressuposição de que existem apenas dois produtores na região (esta foi relaxada na análise teórica), de forma a simplificar a análise.

Existem indícios de que o modelo empregado também pode orientar o governo quanto ao montante de incentivos econômicos (multas e/ou indenizações) a serem aplicados para tornar medidas preventivas efetivas, quando evidências mostram que produtores não têm estímulo a adotar a prevenção quando esta não é mandatória.

Além disso, o modelo proposto no presente trabalho indicou que a aplicação de uma multa mostrou-se mais eficiente que uma indenização, no sentido de aumentar o estímulo à adoção da prevenção. Isso é coerente, uma vez que a multa implica em perdas econômicas para o produtor e nenhuma receita, ao contrário da indenização.

É importante salientar que o estabelecimento de uma punição aos produtores também implica em custos para o governo, o que não foi considerado no modelo proposto, visto que estes esforços não são facilmente mensuráveis. Ou seja, envolvem custos de fiscalização das propriedades, de análise amostral dos animais, para efetivamente confirmar-se a não vacinação e justificar a aplicação da multa.

De fato, a intensificação da fiscalização em relação à adoção das medidas preventivas por parte dos produtores tende a aumentar a chance de efetividade dessas ações, de acordo com os resultados do modelo.

Para o caso específico da febre aftosa, a aplicação empírica do modelo mostrou-se útil e adequada. Ao contrário da hipótese inicial, o modelo desenvolvido no cenário-base não configura um equilíbrio do tipo dilema dos prisioneiros, que requer a intervenção de um terceiro agente para maximizar o bem-estar geral.

Os dados analisados mostram que quando não se tem um mercado diferenciado para animal não vacinado, o equilíbrio do jogo proposto tende à situação onde ambos os produtores decidem vacinar seu rebanho, sugerindo, portanto, que não existe a necessidade de intervenção do governo para estimular a adoção das medidas preventivas.

De maneira geral, o modelo mostrou que a não vacinação pode implicar em custos econômicos elevados para o produtor, quando comparados aos custos relativamente baixos de vacinação, ou seja, não existe, a princípio, justificativa econômica para que o produtor não adote medidas preventivas.

Por outro lado, os resultados também indicam que caso exista um mercado diferenciado para animais não vacinados, e especificamente com um prêmio igual ou superior a 33% sobre o preço de mercado do boi gordo (considerando os dados da simulação aqui proposta), a decisão de não vacinar o rebanho também passa a ser um equilíbrio do jogo, o que indica a necessidade de intervenção do governo para estimular a ocorrência do equilíbrio desejado, ou seja, o da vacinação.

Mesmo sem a existência de um mercado diferenciado para a carne de animais não vacinados de origem brasileira, agentes do setor consultados para o presente estudo indicam que existem produtores que não vacinam seu rebanho, ou parte dele. Nesse caso, a atuação governamental pode ser interessante, uma vez que a ocorrência de falhas de mercado é provável.

O que se verifica para o caso brasileiro é que de fato o governo acaba por estabelecer políticas de incentivo para a vacinação efetiva do gado bovino, através de multas e indenizações, apesar do modelo aqui desenvolvido mostrar que a melhor decisão para o produtor é adotar medidas preventivas, independente do estímulo do governo.

De fato, a Teoria dos Jogos prevê situações como esta, onde o modelo teórico/empírico prevê uma situação diferente da realidade. Isso pode ocorrer por três motivos: pouca aderência do modelo à realidade, omissão de fatores importantes para o cálculo dos payoffs, ou ainda por pressuposição incorreta por parte dos agentes tomadores de decisão (nesse caso, os produtores)

dos parâmetros envolvidos na tomada de decisão, que se traduz na falta de racionalidade ao tomar decisões.

Dentre os motivos para a não vacinação, de acordo com diversos agentes do mercado, têm-se as seguintes constatações:

- Não percepção por parte do produtor de um retorno direto e imediato da vacina contra a febre aftosa, como ocorre com outros tipos de medicamentos aplicados nos animais (como de controle parasitário, que faz com que os animais intensifiquem o ganho de peso), o que destimula a vacinação. O retorno da vacina somente será verificado no caso de um surto da doença ocorrer na proximidade da propriedade do produtor, e este ter vacinado seu animal. Em outras palavras, a vacina não agrega valor ao animal, mas sim o risco de contaminação;
- Operação relativamente trabalhosa de aplicação da vacina em todos os animais. Na verdade, os custos da vacina e aplicação foram computados e considerados no modelo do presente trabalho, o que mostra que esta razão não é justificada.
- Perda de peso dos animais após a aplicação da vacina, decorrente de estresse. Veterinários consultados<sup>40</sup> afirmam que a perda de peso do animal após a vacinação é mínima, e pode ser recuperada facilmente (informação verbal).
- Risco de gerar lesões na carcaça do animal e este perder valor comercial. Veterinários consultados também afirmam que as lesões ocorrem somente quando a vacina é aplicada de maneira incorreta e sem os procedimentos higiênicos exigidos. Portanto esse argumento também não é uma justificativa plausível para a não vacinação.
- Outro fator que pode desestimular a vacinação por parte de alguns produtores é a redução da percepção de risco da doença quando há muito tempo não ocorrem surtos da mesma ou poucos casos recentes aconteceram. De fato, a frequência dos surtos vem diminuindo nos últimos anos, em partes pelo esforço do governo, na divulgação da importância da vacinação e através de suas políticas de estímulo.

---

<sup>40</sup> BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Saúde Animal. 8 maio 2007.

Diante dessas constatações, verifica-se certa irracionalidade por parte de alguns produtores ao não adotar medidas preventivas. Assim, o estudo desenvolvido no presente trabalho é importante para que estes possam delinear panoramas de decisão, de forma a identificar as melhores ações a serem tomadas de acordo com a análise de benefício/custo.

Pela ótica do governo, a irracionalidade de alguns produtores mostra que, tomando o exemplo da pecuária nacional, com os valores considerados para o período explicitado no exemplo aplicado, não se pode deixar por conta dos produtores a decisão da vacinação contra a febre aftosa, dado que as suas decisões afetam toda a economia do país.

Mas, sabendo que o equilíbrio não necessita da sua intervenção, o governo pode redirecionar sua estratégia, divulgando modelos de decisão como o desenvolvido no presente trabalho, para que produtores busquem um procedimento de tomada de decisão adequado.

Vale lembrar que a prevenção será tanto mais efetiva quanto maior o contingente de produtores adotando a vacinação, em uma ação cooperativa, considerando o aspecto coletivo de suas implicações, conforme esperado.

As outras ações do governo de incentivo à vacinação, dentro da linha já adotada de instituição de multas e indenizações, também são válidas, porém a fiscalização das medidas preventivas deve ser intensificada.

A melhora do controle do tráfego de animais, principalmente nas fronteiras com outros países, onde a forma de controle da doença não é tão eficiente, e ações conjuntas entre os países do Cone Sul, como o Programa de Ação Mercosul Livre de Febre Aftosa - PAMA e o Centro Panamericano de Febre Aftosa - PANAFTOSA, também devem ser intensificados, na busca do controle/erradicação da doença em todo o continente.

Ainda que a maioria dos produtores tenha conhecimento dos riscos envolvidos na decisão de não vacinação, o governo deve conscientizar todos os produtores sobre isso. Deve também desmistificar os argumentos de que a aplicação da vacina reduz o peso dos animais, gera estresse nos mesmos, ou que pode causar lesões na sua carcaça.

Também pode ser realizado um melhor monitoramento da circulação viral nas diversas regiões produtoras, e estes levantamentos divulgados aos produtores, como forma de intensificação das ações de prevenção nas regiões de maior risco. Isso pode fazer com que a percepção do risco não seja inferior ao risco real de contaminação dos animais.

Vale ressaltar que o modelo desenvolvido no presente trabalho pode ser aplicado também a casos de doenças em humanos, sob o ponto de vista do poder público, para que este tenha um subsídio ao tomar ações relacionadas a campanhas de vacinação. A análise dos payoffs, no entanto, deve se focar nos custos de prevenção do governo e nos custos de controle da doença no caso de ocorrerem surtos, considerando as probabilidades envolvidas em cada caso. Antes disso, é necessário, no entanto, determinar as estratégias da população em relação à vacinação voluntária, como foi aqui desenvolvido para o caso de doenças em animais.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADO. **Aftosa**: ministro calcula perda de até U\$\$ 1,7 bi na exportação. Disponível em: <<http://www.agenciaestado.com.br>. Acesso em: 15 jan. 2006.

AGÊNCIA ESTADUAL DE DEFESA SANITÁRIA VEGETAL E ANIMAL – IAGRO. **Campanhas de vacinação**. Disponível em: <<http://www.iagro.ms.gov.br/>>. Acesso em: 3 jan. 2007.

AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS – AEN. **Governa libera R\$ 700 mil para sacrifício de animais**. Disponível em: <<http://www.bonde.com.br/bondenews/bondenewsd.php?id=561&dt=20060224>>. Acesso em: 10 fev. 2006.

BARRETT, S. Global disease eradication. **Journal of the European Economic Association**, Milan, v. 1, n. 2-3, p. 591-600, Aug. 2002. Presented at the CONGRESS OF THE EUROPEAN ECONOMIC ASSOCIATION, 17., 2003, Venice.

BARRETT, S. The economics of eradication versus control of infectious diseases. In: WORKSHOP ON THE ECONOMICS OF VACCINATION IN LOW AND MIDDLE INCOME COUNTRIES, 2003, London. **Report...** Disponível em: <[http://www.who.int/immunization\\_financing/analyses/en/economics\\_of\\_immunization\\_workshop.pdf](http://www.who.int/immunization_financing/analyses/en/economics_of_immunization_workshop.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2005.

BAUCH, C.T.; EARN, D.J.D. Vaccination and the theory of games. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS**, Stanford, v. 101, n. 36, p. 13391-13394, Sep. 2004.

BAUCH, C.T.; GALVANI, A.P.; EARN, D.J.D. Group interest versus self-interest in smallpox vaccination policy. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS**, Stanford, v. 100, n. 18, p. 10564–10567, Sept. 2003.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior – SECEX; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Barreiras externas às exportações brasileiras para Estados Unidos, Japão e União Européia**. Brasília, 2001. 195 p. Disponível em: <[http://www.cni.org.br/produtos/com\\_ext/src/barreiras01.pdf](http://www.cni.org.br/produtos/com_ext/src/barreiras01.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Serviço Brasileiro de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos - SISBOV. **Cartilha com perguntas e respostas sobre o novo SISBOV**. Disponível em:

<[http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/PRINCIPAL/DESTAQUES/AREA\\_DE\\_DESTAQUES\\_NOVA/CARTILHA%2BSOBRE%2BO%2BNOVO%2BSISBOV%5B1%5D.PDF](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/PRINCIPAL/DESTAQUES/AREA_DE_DESTAQUES_NOVA/CARTILHA%2BSOBRE%2BO%2BNOVO%2BSISBOV%5B1%5D.PDF)>. Acesso em: 10 nov. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Erradicação da Febre Aftosa**: relatório anual 2004. Disponível em:

<[http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/PROGRAMAS/AREA\\_ANIMAL/PNEFA/RELATORIO\\_PNEFA\\_2004.PDF](http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/PROGRAMAS/AREA_ANIMAL/PNEFA/RELATORIO_PNEFA_2004.PDF)>. Acesso em: 5 jan. 2006.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. **Aliceweb**. Disponível em: <<http://www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 21 ago. 2007.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **Indicador de preços do boi gordo ESALQ/BM&F**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 20 nov. 2006.

CENTRO PANAMERICANO DE FEBRE AFTOSA – PANAFTOSA. **VII Seminário Internacional de Control de Vacuna Antiaftosa**. Rio de Janeiro, set. 2001. Relatório Final. Disponível em: <http://www.panaftosa.org.br>. Acesso em: 5 fev. 2006.

CHYMIS, A.G.; JAMES JÚNIOR, H.S.; KONDURU, S.; PIERCE, V.L. **Asymmetric information in cattle auction**: the problem of revaccinations. Columbia: University of Missouri, Department of Agricultural Economics, July 2004. 29 p. (Working Paper, AEW 2004-5).

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. **Pecuária de corte**. nov. 2006. Disponível em:

<[http://www.cna.org.br/site/down\\_anexo.php?q=E15\\_14660ApresentacaoPecuariadeCorteBrasileira.pdf](http://www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E15_14660ApresentacaoPecuariadeCorteBrasileira.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2006.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **PIB da pecuária recuará 4,21% este ano**. Disponível em:

<<http://www.beefpoint.com.br/?actA=7&areaID=15&secaoID=166&noticiaID=30708>>. Acesso em: 10 out. 2006.

DE ZEN, S. **Pecuaristas de todo o brasil perdem com aftosa**. nov. 2005. Disponível em:

<[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea\\_Aftosa\\_out05.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_Aftosa_out05.pdf)>. Acesso em: 5 dez. 2005.

DENT, S. **Foot-and-mouth disease outbreak**: modelling economic implications for Queensland and Australia. Queensland: Rural Industry Business Services Group, Department of Primary Industries, 2002. (Information Series, QI02035). Disponível em:

<<http://www.dpi.qld.gov.au/extra/pdf/business/fmd/fmd.pdf>>. Acesso em: 6 dez. 2005

EKBOIR, J.; JARVIS, L.S.; SUMNER, D.A.; BERVEJILLO, J.E.; SUTTON, W.R. Changes in foot and mouth disease status and evolving world beef markets. **Agribusiness**, Hoboken, v. 18, n. 2, p. 213–229, 2002. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/93514280/PDFSTART>>. Acesso em: 10 dez. 2005

EXAME: guia exame agronegócio. São Paulo: Editora Abril, n. 849, ago. 2005.

FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 10 ago. 2007.

FERREIRA, R.C. **Cenários do mercado mundial de carnes**. Disponível em: <<http://www.faemg.org.br/Content.aspx?Code=360&ParentPath=None;13>>. Acesso em: 20 nov. 2006.

FOX-RUSHBY, J.; CLARK, A. (Org.). **Report on the technical workshop on the economics of vaccination in low and middle income countries**. London: London School of Hygiene & Tropical Medicine, Department of Public Health and Policy, Oct. 2003. 21 p. Disponível em: [http://www.who.int/immunization\\_financing/analyses/en/economics\\_of\\_immunization\\_workshop.pdf](http://www.who.int/immunization_financing/analyses/en/economics_of_immunization_workshop.pdf). Acesso em: 10 mar. 2006.

GAZETA MERCANTIL. **Aftosa**: vírus da doença caminha ao dia 5,2 quilômetros. Disponível em: <<http://www.gazetamercantil.com.br>>. Acesso em: 27 ago. 2005.

HENNESSY, D.A. **Biosecurity and infectious animal disease**. Ames: Iowa State University, Center for Agricultural and Rural Development, Nov. 2000. 33 p. (Working Paper, 05-WP 423). Disponível em: <<http://www.card.iastate.edu>>. Acesso em: 15 nov. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa pecuária municipal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 ago. 2006.

JARVIS, L.S.; BERVEJILLO, J.E.; CANCINO, J.P. International beef prices: is there evidence of convergence? **Review of Agricultural Economics**, New Jersey, v. 27, n. 3, p. 449–455, 2005.

KEELING, M.J.; WOOLHOUSE, M.E.J.; MAY, R.M.; DAVIES, G.; GRENFELL, B.T. Modelling vaccination strategies against foot-and-mouth disease. **Nature**, New York, v. 421, n. 6919, p. 136-142, Jan. 2003.

KELLY, A. **Decision making using game theory**: an introduction for managers. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 21 p.

LIMA, R.C.A.; MIRANDA, S.H.G.; GALLI, F. **Febre aftosa, impacto sobre as exportações brasileiras de carnes e o contexto mundial das barreiras sanitárias**. São Paulo: Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais – ICONE; Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA, out. 2005. 31 p. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/CEPEA-ICONE\\_Aftosa%20\(final\).pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/CEPEA-ICONE_Aftosa%20(final).pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2005.

LYRA, T.M.P.; SILVA, J.A. A febre aftosa no Brasil, 1960-2002. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 56, n. 5, p. 565-576, 2004.

MARSH, T.L.; WAHL, T.; SUYAMBULINGAM T. **Animal disease outbreaks and trade bans: world trade organization impacts on U.S. farm policy**. New Orleans: World Trade Center, Southern Regional Trade Research Committee (S1016), June 2005. 33 p.

MATTOO, A. **Discriminatory consequences of non-discriminatory standards**. Geneva: World Trade Organization, Trade in Services Division, Sept. 1996. 30 p. (Working Paper, TISD-96-01).

MCCAIN'S, R. **Game theory: an introductory sketch**. New York: Center for Game Theory in Economics, 1999. Disponível em: <<http://www.gtcenter.org/>>. Acesso em: 27 nov. 2006.

MCDONALD, S.; ROBERTS, D.; KAY, A. **The economy-wide impacts of the foot and mouth disease outbreak in Scotland: a computable general equilibrium analysis**. 2003. Disponível em: <<http://scotecon.net/publications/Roberts%20FM%20Full%20February.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2006.

MILLER, G. **Why do governments exist?** Disponível em: <<http://www.artsci.wustl.edu/~polisci/miller/american/lecture/openinglecture.html>>. Acesso em: 5 jun. 2006.

NICHOLSON, W. **Microeconomy theory: basic principles and extensions**. Stamford: Thomson Learning, 2002. 604 p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE ANIMAL – OIE. **Official animal health status**. Disponível em: <<http://www.oie.int>>. Acesso em: 3 jan. 2007.

OSBORNE, M.J. **An introduction to game theory**. New York: Oxford University Press, 2004. 533 p.

PAARLBERG, P.L.; LEE, J.G.; SEITZINGER, A.H. Economic modeling of livestock disease outbreaks. **International Food and Agribusiness Management Review**, College Station, v. 8, n. 1, p. 16, 2005.

PETELINKAR, E. Febre aftosa: aprendendo com a crise. **Revista Voz do Produtor**. Campo Grande, v. 2, n. 9, p. 10-13, set/out. 2005.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1994. 568 p.

PITUCO, E.M. **A importância da febre aftosa em saúde pública**. São Paulo: Instituto Biológico, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Animal, 2004. Disponível em: <<http://bvs.panaftosa.org.br/textoc/Pituco-FMD-saudepublica.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2005.

RANDOLPH, T.F.; MORRISON, J.A.; POULTON C. Evaluating equity impacts of animal disease control: the case of foot and mouth disease in Zimbabwe. **Review of Agricultural Economics**, New Jersey, v. 27, n. 3, p. 465–472, 2005.

RICH, K.M. **DISCOSEM**: an integrated epidemiological-economic analysis of foot and mouth disease in the southern cone. Urbana: University of Illinois, Regional Economics Applications Laboratory – REAL, Nov. 2004. 33 p. (Discussion Paper, REAL 04-T-15).

RICH, K.M.; WINTER-NELSON, A.; BROZOVIĆ, N. Modeling regional externalities with heterogeneous incentives and fixed boundaries: applications to foot and mouth disease control in South America. **Review of Agricultural Economics**, New Jersey, v. 27, n. 3, p. 456–464, 2005.

SAMARA, S.I.; BUZINARO, M. da G.; CARVALHO, A.A.B. de. Implicações técnicas da vacinação na resposta imune contra o vírus da febre aftosa. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 41, n. 6, p. 375-378, 2004.

SELA, A.; VLEUGELS, J. **A brief definition of game theory**. New York: Center for Game Theory in Economics, 1997. Disponível em: <<http://www.sfb504.uni-mannheim.de/glossary/game.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2006.

SILVA, C.C.; ZANINE, A. de M.; LÍRIO, V.S. Análise do desempenho brasileiro no mercado internacional de carne bovina. **Revista Electrónica de Veterinaria REDVET**, Madri, v. 6, n. 11, Nov. 2005. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111105.html>>. Acesso em: 14 maio 2006.

SILVA, R. de O.P. A influenza aviária e as exportações brasileiras de frango. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 1, n. 3, mar. 2006. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=4932>>. Acesso em: 10 jun. 2006.

SILVA, T.G.R. da; MIRANDA, S.H.G. de. **A febre aftosa e os impactos econômicos no setor de carnes**. 2006. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Artigo\\_febre\\_aftosa.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Artigo_febre_aftosa.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2006.

STEMPNIEWSKI, C.E.; **Febre aftosa**: ainda busca-se um culpado. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/index.php?p=texto&&idT=726>>. Acesso em: 2 jul. 2006.

UNITED NATIONS. Statistic Division. **Commodity Trade Statistics Database: COMTRADE**. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/comtrade/>>. Acesso em: 2 ago. 2007.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov>>. Acesso em: 3 ago. 2007.

WALKER, P. **A chronology of game theory**. New York: Center for Game Theory in Economics, 2005. Disponível em: <[http://www.econ.canterbury.ac.nz/personal\\_pages/paul\\_walker/gt/hist.htm](http://www.econ.canterbury.ac.nz/personal_pages/paul_walker/gt/hist.htm)>. Acesso em: 10 nov. 2006.

WEISSHEIMER, M.A. **Aftosa**: crônica de uma volta anunciada. Disponível em: <http://www.agenciartamaior.com.br>. Acesso em: 5 jun. 2006.

WORLD BANK. **World development indicators database**. Disponível em: <<http://devdata.worldbank.org>>. Acesso em: 21 ago. 2007.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)