**Universidade de São Paulo**
**Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

# Análise do armazenamento de arroz no Brasil sob condições de incerteza através de um modelo dinâmico de expectativas racionais

**Cassiano Bragagnolo**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba**
**2006**

Cassiano Bragagnolo
Engenheiro Agrônomo

# Análise do armazenamento de arroz no Brasil sob condições de incerteza através de um modelo dinâmico de expectativas racionais

Orientador
Prof. Dr. **GERALDO SANT'ANA DE CAMARGO BARROS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba**
**2006**

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

Bragagnolo, Cassiano
Análise do armazenamento de arroz no Brasil sob condições de incerteza através de um modelo dinâmico de expectativas racionais / Cassiano Bragagnolo. - - Piracicaba, 2006.
137 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Armazenamento agrícola 2. Arroz – aspectos econômicos 3. Controle de estoques 4. Mercado agrícola 5. Política agrícola 6. Preço agrícola I. Título

CDD 338.17318

*Aos meus pais Nestor Bragagnolo e Carmen Maria Bragagnolo,*

*aos meus irmãos Nestor Bragagnolo Filho e Bibiana Maria Bragagnolo*

**DEDICO**

*E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho*

**OFEREÇO**

## Agradecimentos

À minha família pela paciência, incentivo e apoio irrestrito e incondicional em todos os momentos da minha vida, principalmente no período de elaboração deste trabalho.

Ao professor Geraldo Sant'Ana de Camargo Barros pela orientação e apoio durante o período de elaboração desta dissertação.

À professora Vania di Addario Guimarães pela ajuda e pelas idéias compartilhadas durante a realização deste trabalho e pelas oportunidades concedidas durante toda a minha vida acadêmica e profissional.

Às professoras Silvia Helena Galvão de Miranda e Mirian Rumenos Piedade Bacchi pelas críticas e sugestões apresentadas por ocasião da apresentação do seminário e exame de qualificação.

À CAPES pelo auxílio através da concessão de bolsa de estudos durante o curso de mestrado.

Aos professores do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP, pelos ensinamentos recebidos.

Aos funcionarios do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP, pelo apoio durante todo o período de realização do curso.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Economia Aplicada, Leila, Paulo Carletti, Conchas, Cezar, Gustavo, Jiló e em especial para Mariusa, pela ajuda, motivação e incentivo nos momentos mais difíceis da realização do mestrado.

## SUMÁRIO

## RESUMO

**Análise do armazenamento de arroz no Brasil sob condições de incerteza através de um modelo dinâmico de expectativas racionais**

O objetivo deste trabalho foi analisar o armazenamento do arroz no Brasil, propondo modelos para tomada de decisão quanto à formação de estoques. Uma vez conhecidos estes modelos é possível analisar previamente as intervenções pretendidas pelo governo. Para tanto se partiu da hipótese de que é possível representar o mercado de arroz no Brasil através de um modelo dinâmico de expectativas racionais capaz de captar o efeito da importação do produto e de algumas políticas de sustentação de preço ao produtor adotadas pelo governo brasileiro. A proposta metodológica para a estimação do modelo segue a abordagem de programação dinâmica. Foram desenvolvidos algoritmos que representam o mercado de arroz no Brasil em uma situação de mercado fechado sem intervenção do governo, mercado aberto sem intervenção do governo, mercado fechado com intervenção do governo via Prêmio de Escoamento do Produto - PEP, mercado fechado com intervenção do governo via Aquisição do Governo Federal - AGF mercado aberto com intervenção do governo via PEP, mercado aberto com intervenção do governo via AGF. Os métodos utilizados para solução exigem que sejam conhecidos as funções de demanda e oferta de área, o custo unitário de armazenamento, a taxa anual de juros, a distribuição de probabilidades das variáveis aleatórias (produtividade e choques de demanda) e os preços de importação e mínimos (quando for o caso). Os preços esperados de mercado na situação de mercado aberto com intervenção via PEP foram ligeiramente inferiores ao preço de mercado sem intervenção, porém o preço recebido pelo agricultor foi ligeiramente maior. Isto significa que parte dos recursos da PEP é apropriada pelo produtor e parte pela indústria. Os resultados do modelo aberto com AGF demonstram que os preços para o comprador ficam acima do encontrado para o modelo sem intervenção do governo. Outro resultado encontrado foi que o nível de preços mínimos praticado nos últimos anos não tem sido suficientemente elevado a ponto de promover mudanças significativas no equilíbrio de mercado interno.


Palavras-chave: Armazenagem; Expectativas Racionais; Mercado de arroz.

## ABSTRACT

### Dynamic rational expectation storage models with uncertanty conditions applied to Brazilian rice market

The aim of this study was to analyze rice storage in Brazil, proposing a model for decision taking regarding stock formation. Once these models are known it is possible to previously analyze the government interventions. Thus, the study was based on the hypothesis that it is possible to represent the rice market in Brazil through a dynamic model of rational expectations able to analyze the product importation effect and some policies of price support to the producer adopted by the Brazilian government. The methodological proposal for estimating the model follows the dynamic programming approach. It was developed algorithms which represent the rice market in Brazil in a situation of closed market without the government intervention, open market without government intervention, closed market with the government intervention through PEP (Prêmio de Escoamento do Produto – Prize for Product Outletting), closed market with the government intervention through AGF (Aquisição do Governo Federal – Federal Government Acquisition), open market with the government intervention through PEP, open market with government intervention through AGF. The methods used for the solution require that it be known the demand and supply functions for the area, the unit storage cost, the annual interest rate, the distribution of probabilities of random variables (productivity and demand shocks), importation and minimum (whenever is the case) prices. The expected market prices in the situation of open market with intervention through PEP were slightly lower than to the market price without intervention, however the price received by the grower was a little higher. It means that part of the PEP resources is allotted by the grower and part by the industry. The results of the open model with AGF show that the prices for the buyer are higher than those found in the model without government intervention. Another result was that the level of minimum prices practiced over the last years has not been adjusted to the point to promote significant changes in the balance of the domestic market.

Keywords: Storage; Rational expectations; rice market.

**LISTA DE FIGURAS**

## LISTA DE TABELAS

# 1 INTRODUÇÃO

O comportamento dos preços de produtos agrícolas ao longo do tempo e sua relação com a atividade de armazenamento têm sido objetos de estudo de vários autores. Segundo Barros (2005) o grau de complexidade dessas análises tem variado.

Durante a década de 80, Wright e Willians (1982) resgataram o trabalho de Gustafson (1958) analisando a economia do armazenamento como um problema dinâmico. Nesse trabalho os autores substituíram a hipótese de oferta perfeitamente elástica, feita por Gustafson, pela de oferta elástica. No modelo de Wright e Willians (1982) os agentes armazenadores e os produtores respondem de forma racional aos estímulos econômicos. Desta forma tanto produtores quanto armazenadores maximizam seu lucro em um ambiente competitivo em que as expectativas destes agentes são racionais, no sentido de Muth (1961).

Lowry et al. (1987) substituem a função de produção planejada, proposta por Wright e Willians (1982), por uma função de área plantada, levando em conta que a variável de decisão do produtor é a área plantada e não a produção planejada, que depende do clima.

Uma série de trabalhos com o intuito de aplicar a abordagem de expectativas racionais ao problema de armazenamento e tratando de seu caráter dinâmico vem sendo desenvolvida nas últimas décadas. Podem-se citar como exemplos Wright e Willians (1984), Miranda e Glauber (1993), Gardner e López (1996) e Michaelides e Serena (2000).

Os únicos modelos desta natureza específicos para o caso brasileiro foram desenvolvidos por Guimarães (2001). A autora desenvolve e faz uma aplicação de um modelo anual para a cultura do milho, modelo este aplicável para outras culturas.

Para representar o mercado de arroz no Brasil com todas as suas peculiaridades procurou-se encontrar na literatura modelos capazes de analisar os efeitos da política de preços mínimos e da importação sobre o equilíbrio de estocagem. Este trabalho concentra-se nos estoques anuais e não nos estoques consumidos ao longo do ano, consistindo, portanto, em uma análise entre anos e não dentro do ano.

A formulação pioneira proposta por Gustafson (1958) fornece toda a base necessária para tratar o problema de armazenamento como um problema dinâmico, através da teoria do controle e continua sendo a base para a resolução de modelos desta natureza.

A teoria do controle é utilizada para descrever casos em que o mero movimento instantâneo nas variáveis a serem analisadas é inadequado, sendo necessária a análise das mudanças da taxa de variação da variável ao longo do tempo. Este tipo de decisão é inerentemente dinâmico, uma vez que tomada no presente afeta as decisões a serem tomadas no futuro.

As aplicações mais importantes deste tipo de análise acontecem no campo dos recursos naturais renováveis. Uma utilização eficiente de um determinado recurso que pode escassear devido a uma má utilização no presente é um exemplo de aplicação da teoria do controle.

## 1.1 O problema e sua importância

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2005b) o setor orizícola responde por cerca de 7,5% do valor bruto da produção agrícola de lavouras temporárias nacional, perdendo apenas para soja, cana-de-açúcar e milho na média das safras compreendidas entre 1999/00 a 2003/04. Neste mesmo período o arroz foi o quinto produto agrícola mais plantado em terras brasileiras, correspondendo a cerca de 7,3% da área plantada com lavouras temporárias. Foram colhidas, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2005a), 12.808,2 mil toneladas na safra 2003/04 e uma média de 11.122,1 mil toneladas nas safras compreendidas entre 1999/00 e 2003/04, o que representa aproximadamente 1,9% da produção mundial. Dados do Department of Agriculture (ESTADOS UNIDOS, 2005) apontam que o Brasil, na média das safras compreendidas entre 1999/00 a 2003/04, é o décimo maior produtor mundial de arroz e o maior produtor fora do continente asiático. Quanto ao comércio internacional, verificou-se uma importação de 1.071,4 mil toneladas e uma exportação de 30,2 mil toneladas na média das safras compreendidas entre 1999/00 e 2003/04 (CONAB, 2005a). Houve uma grande variação das importações brasileiras no período. A maior importação do período ocorreu em 2002/03, quando 1.601,6 mil toneladas forma importadas, e a menor em 2001/02, quando 737,3 mil toneladas forma importadas. A menor exportação do período ocorreu em 1999/00, quando 21,1 mil toneladas foram exportadas, e a maior em 2003/04, quando 60,0 mil toneladas foram exportadas.

O arroz é um alimento de grande importância na dieta dos brasileiros. Dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares - POF 2002/03 divulgados pelo IBGE (2005a) apontam o arroz como o segundo produto alimentar mais consumido pelos brasileiros, com um total de 25,248 kg per capita/ano, sendo menos consumido, apenas, que o leite. A participação do arroz nas despesas com alimentação dos consumidores brasileiros, no mesmo período, foi de 4,64%.

Os preços médios anuais no atacado do arroz no período da safra, no período de 1995 a 2004 segundo dados da CONAB (2005a), tiveram uma média de R$ 1,37 e um desvio padrão de R$ 0,175 para o arroz agulhinha e uma média de R$ 1,18 e um desvio padrão de R$ 0,165 para o arroz de sequeiro. No mesmo período os preços médios anuais na safra recebidos pelos produtores, segundo dados da Fundação Getúlio Vargas, retirado do site do IPEA, possuem variação com média de R$ 0,55 e desvio padrão de R$ 0,085.

A orizicultura é considerada pelo governo brasileiro um produto de segurança alimentar. Por este motivo a intervenção governamental no setor tem sido bastante significativa. A importância dos estoques está centrada, principalmente, na garantia de abastecimento, uma vez que o efeito da introdução da estocagem no mercado é de redução da dispersão no consumo ao longo do tempo. Observa-se também outro efeito importante e decorrente do primeiro, que consiste na modificação do comportamento dos preços no tempo. Tanto do ponto de vista do consumidor final quanto do produtor, os preços tendem a ser mais constantes quando existe a possibilidade de armazenagem.

## 1.2 Objetivos, hipótese e pressupostos

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral é, por meio de modelos econômicos de programação dinâmica com expectativas racionais, tornar conhecidos os possíveis modelos para tomada de decisão quanto à formação de estoques de arroz no Brasil. Com estes modelos serão analisadas intervenções no setor pretendidas pelo governo

### 1.2.2 Objetivos específicos

Têm-se como objetivos específicos

- Discutir a metodologia de resolução dos modelos, focando nos pontos que não se encontram satisfatoriamente explicados na literatura disponível;
- Adaptar os modelos existentes na literatura à situação encontrada no mercado de arroz brasileiro;
- Definir funções de oferta de área para plantio e demanda por consumo de arroz no Brasil, bem como choques de oferta e demanda;

- Encontrar a regra de armazenamento ótimo, ou seja, definir para quais níveis de disponibilidade é viável armazenar e qual a quantidade que deve ser armazenada para cada um destes níveis em cada modelo utilizado;
- Comparar o equilíbrio de mercado encontrado para cada um dos modelos de armazenamento utilizados, analisando a eficácia das políticas adotadas pelo governo para o setor orizicola e os efeitos da importação sobre os equilíbrios encontrados;
- Fornecer base para a análise das decisões tomadas pelo governo com relação às políticas voltadas para o setor orizicola.

### 1.2.3 Hipótese

A hipótese básica é de que é possível representar o mercado de arroz no Brasil através de um modelo dinâmico de expectativas racionais capaz de captar o efeito da importação do produto e das políticas de sustentação de preço ao produtor adotadas pelo governo brasileiro.

### 1.2.4 Pressupostos

A pressuposição básica necessária é a de que existe perfeito conhecimento sobre as condições estocásticas de oferta e demanda tanto presentes quanto futuras. Outra pressuposição é que a política de garantia de preços mínimos adotada pelo governo tem o objetivo de sustentar o preço pago ao produtor acima do preço de mercado para anos em que estes estejam abaixo de um determinado patamar. A terceira pressuposição é que os agentes armazenadores são neutros ao risco. Também é pressuposto que as exportações brasileiras de arroz são pequenas, podendo ser desconsideradas, e que, portanto, estas não afetam significativamente o nível de preço e de produto disponibilizado internamente. É pressuposto ainda que as condições de oferta e demanda do produto são condizentes com as encontradas em uma condição de concorrência perfeita.

## 1.3 Organização do estudo

Os objetivos e a hipótese deste trabalho foram apresentados no capítulo 1. No capítulo 2 apresentam-se algumas características do mercado de arroz no Brasil, discute-se, ainda, o modelo teórico preparando-se a base para a solução do modelo. No capítulo 2 apresenta-se também a metodologia e os resultados. Por fim, no capítulo 3, são apresentadas as conclusões.

# 2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo tem como objetivo analisar alguns aspectos relevantes a respeito do mercado de arroz no Brasil, bem como, fornecer a base teórica necessária para o desenvolvimento do modelo dinâmico de armazenamento com expectativas racionais. Este capítulo pretende ainda apresentar a resolução do modelo proposto através da apresentação dos algoritmos desenvolvidos e dos resultados encontrados.

## 2.1 O mercado de arroz no Brasil e a política de garantia de preços mínimos

### 2.1.1 O mercado de arroz no Brasil

Neste item serão discutidos alguns tópicos relevantes a respeito do mercado de arroz. Esta discussão permitirá uma primeira visualização do problema, fornecendo a base para algumas relações discutidas posteriormente.

O arroz é um dos principais produtos de consumo popular no Brasil. Trata-se de um produto comercializado em um ambiente relativamente competitivo, onde os varejistas e os produtores possuem pequena parcela do mercado. O arroz é um produto comercializado *in natura* com possibilidade de armazenamento e abastecido em grande parte pela produção doméstica.

A produção mundial de arroz na média das safras compreendidas entre 1999/00 e 2003/04 foi de 587.405 mil toneladas O Brasil é o maior produtor não-asiático e figura entre os dez principais produtores mundiais de arroz, com 1,9% do total mundial. O maior produtor mundial de arroz é a China, o segundo é a Índia e o terceiro, a Indonésia. Estes países em conjunto têm produzido mais de 60% da produção mundial desse produto (ESTADOS UNIDOS, 2005).

A produção brasileira de arroz tem variado bastante ao longo dos anos. Passou de 9,81 milhões de toneladas em 1985/86 para 12,81 em 2004/05, chegando a atingir um nível abaixo das 8 milhões de toneladas em 1989/90 como pode ser visto na Tabela 1. Os maiores valores ocorreram em 2003/04 e 2004/05 quando a produção girou em torno de 12.800 mil toneladas. A média da produção nacional no período compreendido entre 1985/86 a 2004/05 foi de 10,30 milhões de toneladas (CONAB, 2005).

A menor área plantada de arroz no período compreendido entre as safras 1985/86 e 2004/05 ocorreu na safra 2002/03 quando a área plantada foi pouco menor que 3,19 milhões de hectares. A maior área plantada ocorreu na safra 1986/87 quando a área plantada foi de cerca de 6,04 milhões de hectares. A média da área plantada no período foi de 4,21 milhões de hectares.

Tabela 1 - Estoque inicial, produção, importação, suprimento, consumo, exportação e estoque final de arroz 1985/86 a 2004/05 em mil toneladas

| Ano Safra | Estoque Inicial[1] | Produção | Impor-tação | Suprimento | Consumo Aparente | Expor-tação | Estoque Final[1] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1985/86 | 252,5 | 9813,0 | 2074,0 | 12139,5 | 10240,0 | 6,0 | 1893,5 |
| 1986/87 | 1893,5 | 10578,0 | 235,0 | 12706,5 | 10000,0 | 5,0 | 2701,5 |
| 1987/88 | 2701,5 | 11762,2 | 190,0 | 14653,7 | 10500,0 | 10,0 | 4143,7 |
| 1988/89 | 4143,7 | 11092,0 | 252,5 | 15488,2 | 10800,0 | 10,0 | 4678,2 |
| 1989/90 | 4678,2 | 7967,6 | 717,6 | 13363,4 | 11000,0 | 10,8 | 2352,6 |
| 1990/91 | 2352,6 | 9996,8 | 1296,6 | 13646,0 | 11220,0 | 2,1 | 2423,9 |
| 1991/92 | 2423,9 | 10102,8 | 732,3 | 13259,0 | 11035,1 | 2,2 | 2221,7 |
| 1992/93 | 2221,7 | 9902,8 | 880,9 | 13005,4 | 11314,4 | 5,7 | 1685,3 |
| 1993/94 | 1685,3 | 10523,0 | 1683,0 | 13891,3 | 11560,0 | 3,0 | 2328,3 |
| 1994/95 | 2328,3 | 11237,0 | 1018,0 | 14583,3 | 11595,0 | 16,0 | 2972,3 |
| 1995/96 | 2972,3 | 10037,4 | 1138,0 | 14147,7 | 11629,0 | 12,0 | 2506,7 |
| 1996/97 | 2506,7 | 9524,0 | 1222,7 | 13253,4 | 11664,4 | 13,5 | 1575,5 |
| 1997/98 | 1575,5 | 8462,9 | 2009,0 | 12047,4 | 11750,0 | 9,9 | 287,5 |
| 1998/99 | 287,5 | 11582,2 | 1338,0 | 13207,7 | 11700,0 | 37,7 | 1470,0 |
| 1999/00 | 1470,0 | 11423,1 | 936,5 | 13829,6 | 11850,0 | 21,1 | 1958,5 |
| 2000/01 | 1958,5 | 10386,0 | 951,6 | 13296,1 | 11950,0 | 24,4 | 1321,7 |
| 2001/02 | 1321,7 | 10626,1 | 737,3 | 12685,1 | 12000,0 | 21,9 | 663,2 |
| 2002/03 | 663,2 | 10367,1 | 1601,6 | 12631,9 | 12250,0 | 23,5 | 358,4 |
| 2003/04 | 358,4 | 12808,2 | 1130,0 | 14296,6 | 12660,0 | 60,0 | 1576,6 |
| 2004/05[2] | 1576,6 | 12809,4 | 700,0 | 15086,0 | 12830,0 | 250,0 | 2006,0 |

Fonte: dados adaptados de CONAB/DIPLA em Barros e Guimarães (1998) e Brasil (2005)

[1] Os valores do dado original dos estoques iniciais e finais dos anos compreendidos entre 1985/86 e 1996/97 foram ajustados em função dos anos subseqüentes

[2] Dado baseado em projeções

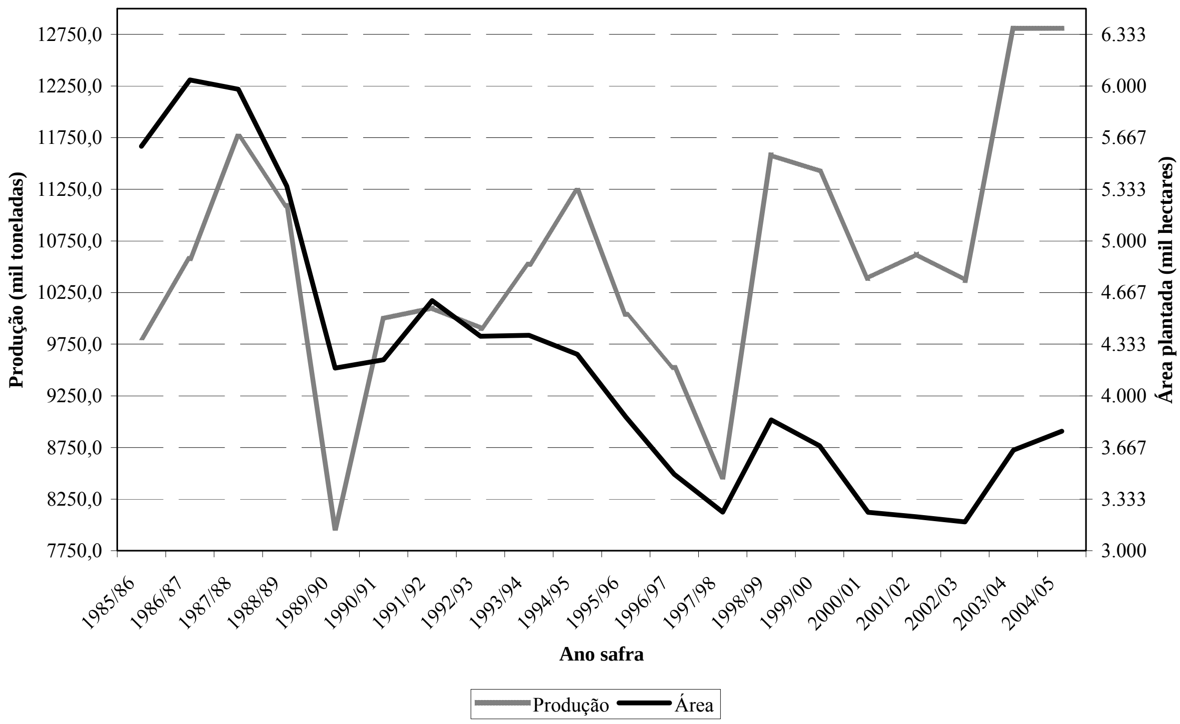



Figura 1 - Evolução da produção e da área plantada brasileira de arroz 1985/86 à 2004/05

Fonte: dados adaptados de CONAB /DIPLA em Barros e Guimarães (1998) e CONAB (2005b)

Como se pode verificar na Tabela 1 os níveis de estoque têm oscilado bastante nos últimos 20 anos. A média do estoque final no período foi de 2.056,3 mil toneladas. O maior estoque final ocorreu em 1988/89, quando 4.678,2 mil toneladas foram estocadas. O menor estoque final para o período analisado ocorreu em 1997/98, com 287,5 mil toneladas.

Embora o consumo total de arroz tenha aumentado o consumo *per capita* no Brasil ao longo da década de 90 sofreu decréscimo. Este fato foi acompanhado de uma série de análises objetivando explicar as razões de tal fenômeno. Os pontos explicativos mais comuns eram a suposta pouca atratividade do produto no âmbito de um mercado globalizado e a mudança dos hábitos alimentares da população (FERREIRA, SOUZA e VILAR, 2005).

A média das importações brasileiras no período entre 1985/86 e 2004/05 foi de 1.042,2 mil toneladas e das exportações de 27,2 mil toneladas. A maior importação - 2.074,0 mil toneladas - do período ocorreu em 1985/86, e a menor em 1987/88, com 190,0 mil toneladas.

As exportações de arroz brasileiras têm sido muito pequenas e têm consistido, basicamente, de arroz quebrado. A menor exportação - 2,1 mil toneladas - do período ocorreu em

1990/91, e a maior deverá ocorrer, segundo estimativas preliminares, em 2004/05, com 250,0 mil toneladas.

O Brasil durante muitos anos foi exportador de arroz. Na década de 80 passou a importar pequenas quantidades (aproximadamente 5% da demanda total) e, a partir dos anos 90, se tornou um grande importador, chegando a importar mais de 1,5 milhão de toneladas, em 1997/98 e 1993/94, ou cerca de 15% do consumo interno. A diferença entre a produção e o consumo de arroz a partir da década de 90 passou a ser suprida, principalmente, pelo Uruguai e Argentina. O Brasil chegou, ao longo da última década, a figurar entre os dez maiores importadores de arroz em casca mundiais. Segundo dados do Departament of Agriculture (ESTADOS UNIDOS, 2005) o Brasil absorveu em média 4% do volume das exportações mundiais deste cereal de 1999/00 a 2003/04.

O arroz é cultivado em todos os estados brasileiros. A renda propiciada pela cultura, bem como sua importância econômica e social, diferem de acordo com as condições de produção locais e com a tradição da cultura na região.

Existe uma grande variação na produtividade orizicola ao longo do território nacional devido principalmente às diferentes tecnologias de produção empregadas. Os dois sistemas básicos de produção de arroz no Brasil são o irrigado e o de terras altas. O cultivo irrigado é de alta tecnologia levando a altas produtividades. Já no cultivo de terras altas o nível de tecnologia empregado é mais baixo, propiciando menores produtividades.

Apesar da grande dispersão da produção brasileira pode-se dividi-la em três grandes pólos. O primeiro é a região Sul, produzindo arroz irrigado com alta tecnologia e destacando o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O segundo pólo abrange as regiões Sudeste e Centro-oeste, envolvendo São Paulo, Minas Gerais, Goiás e, principalmente, Mato Grosso. O terceiro pólo é a região Nordeste, representada basicamente pelo estado do Maranhão que possui uma importância histórica na produção e tem figurado entre os principais estados produtores (Ferreira, Souza e Vilar, 2005).

Tabela 2 - Área plantada e produção de arroz, média das safras 1999/00 a 2003/04 e ano safra 2004/05, estados selecionados, regiões e Brasil

| | Produção (Mil toneladas) | | | Área (Mil hectares) | | | Kg/ha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Região<br>Estado | Média<br>5 safras[1] | 2003/04 | Part%<br>Média | Média<br>5 safras[1] | 2003/04 | Part%<br>Média | Média<br>5 safras |
| Norte | 1.190,8 | 1.330,5 | 10,7% | 565,6 | 568,0 | 16,7% | 2.105,3 |
| Rondônia | 154,3 | 166,3 | 1,4% | 79,4 | 79,2 | 2,3% | 1.944,1 |
| Pará | 495,1 | 541,4 | 4,5% | 282,4 | 280,5 | 8,3% | 1.753,3 |
| Tocantins | 395,2 | 424,2 | 3,6% | 149,8 | 165,7 | 4,4% | 2.637,5 |
| Nordeste | 1.116,0 | 1.147,1 | 10,0% | 751,1 | 772,1 | 22,1% | 1.485,8 |
| Maranhão | 685,9 | 720,1 | 6,2% | 486,6 | 517,7 | 14,3% | 1.409,7 |
| Piauí | 176,7 | 167,6 | 1,6% | 158,8 | 159,6 | 4,7% | 1.113,0 |
| Ceará | 101,6 | 92,3 | 0,9% | 44,7 | 37,5 | 1,3% | 2.271,0 |
| Centro-oeste | 2.005,8 | 2.517,5 | 18,0% | 726,3 | 892,4 | 21,4% | 2.761,7 |
| Mato Grosso | 1.519,1 | 1.932,2 | 13,7% | 539,0 | 675,6 | 15,9% | 2.818,3 |
| Mato Grosso do Sul | 231,3 | 240,0 | 2,1% | 56,6 | 55,4 | 1,7% | 4.085,1 |
| Goiás | 254,9 | 345,2 | 2,3% | 130,4 | 161,3 | 3,8% | 1.954,6 |
| Sudeste | 351,0 | 337,0 | 3,2% | 159,0 | 136,1 | 4,7% | 2.207,0 |
| Minas Gerais | 219,5 | 212,4 | 2,0% | 105,0 | 94,4 | 3,1% | 2.090,9 |
| São Paulo | 107,0 | 105,6 | 1,0% | 45,7 | 35,2 | 1,3% | 2.340,2 |
| Sul | 6.458,5 | 7.476,1 | 58,1% | 1.189,2 | 1.255,9 | 35,0% | 5.430,9 |
| Paraná | 178,6 | 174,6 | 1,6% | 74,3 | 65,9 | 2,2% | 2.402,5 |
| Santa Catarina | 931,6 | 999,8 | 8,4% | 141,5 | 150,8 | 4,2% | 6.585,7 |
| Rio Grande do Sul | 5.348,3 | 6.301,7 | 48,1% | 973,4 | 1.039,2 | 28,7% | 5.494,3 |
| Centro-oeste e Sul | 8.464,3 | 9.993,6 | 76,1% | 1.915,5 | 2.148,3 | 28,7% | 4.418,8 |
| BRASIL | 11.122,1 | 12.808,2 | 100,0% | 3.396,3 | 3.649,5 | 100,0% | 3.274,8 |

Fonte: adaptado de CONAB (2005b)

[1] Safras compreendidas entre 1999/00 a 2003/04

Os dados da década de 90 sugerem certa estabilidade com relação ao arroz irrigado e um processo de transição para arroz de terras altas. Segundo Ferreira, Souza e Vilar (2005) a produtividade do arroz irrigado apresentou pequena taxa de variação positiva, enquanto que a taxa do arroz de terras altas foi bem maior. No início da década de 80, a relação entre a produção total de arroz de terras altas e irrigado era de cerca de 1/3. Ao longo da década de 90 esta relação mudou, principalmente, através dos ganhos de produtividade do arroz de terras altas e chegou a 2/3 aproximadamente. As participações da produção de arroz irrigado na produção total nos qüinqüênios 86/90, 91/95 e 96/2000 segundo o IBGE (2005c) foram de 52%, 59% e 61%, respectivamente, e do arroz de terras altas foram de 48%, 41% e 39%.

Existe uma grande variação de produtividade dentro do território nacional. Segundo dados da CONAB (2005b) a produtividade média dos quatro maiores estados produtores, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Santa Catarina e Maranhão, na média das safras compreendidas entre 1999/00 e 2003/04 foi de 5.495,3, 2.818,3, 6.585,7, e 1.409,6 kg/ha respectivamente. Portanto, quando se analisa a produtividade média nacional ou mesmo regional do arroz deve-se estar ciente que estes números são provenientes da mistura de tecnologias absolutamente diversas.

Destaca-se que os cinco maiores produtores de arroz no Brasil, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Santa Catarina, Maranhão e Pará, não são necessariamente os estados que mais destinam área ao plantio. Os cinco estados que mais plantaram arroz no Brasil em 2004/05 foram: Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Maranhão, Pará e Tocantins.

Santa Catarina, apesar de ter sido o terceiro maior produtor nos últimos anos, é apenas o oitavo estado em área plantada, como pode ser visto na tabela 2, o que reflete a alta produtividade encontrada neste estado.

O Maranhão é um estado que possui características singulares, com grande parte da produção destinada ao auto-abastecimento dos produtores e utilizando, em maior parte, baixa tecnologia de produção (FERREIRA, SOUZA e VILAR, 2005).

A principal região produtora de arroz no Brasil é a região Sul, produzindo mais da metade do arroz nacional, com principal destaque ao estado do Rio Grande do Sul. A segunda maior região produtora é o Centro-oeste, com destaque para o Mato Grosso. Somadas estas regiões têm correspondido à cerca de 75% da produção nacional de arroz e estes estados a mais de 60% da produção nacional.

A área destinada ao plantio de arroz no Rio Grande do Sul é mais estável do que a área destinada a este fim no Mato Grosso. O desvio padrão da área plantada no Rio Grande do Sul no período compreendido entre 1985/86 a 2004/05 foi de 97,2 ha enquanto no Mato Grosso foi de 142,4 ha, com medias de 894,3 ha e 535,2 ha, respectivamente. O desvio padrão da produção total do Rio Grande do Sul de 847,2 mil toneladas e do Mato Grosso foi de 481,8 mil toneladas, com médias de 1.076,3 mil toneladas e 4.574,5 mil toneladas, respectivamente.

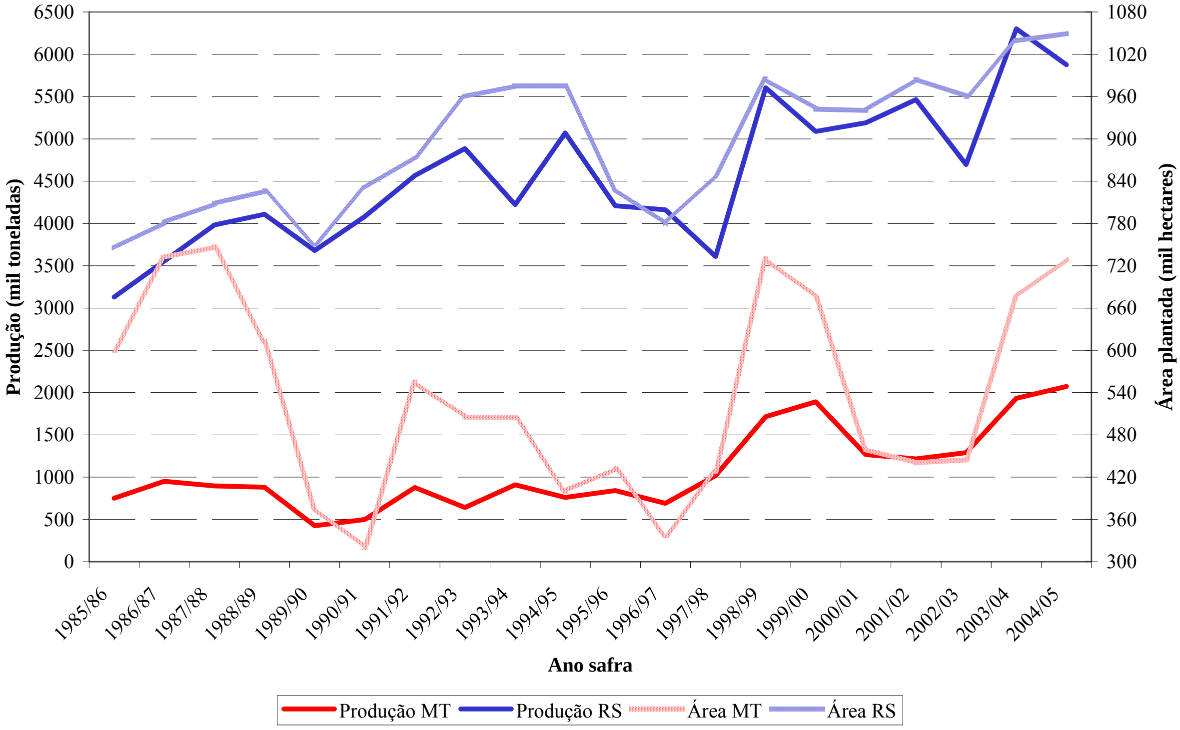



Figura 2 - Evolução da produção e da área plantada de arroz no Rio Grande do Sul e Mato Grosso 1985/86 a 2004/05

Fonte: adaptados de CONAB/DIPLA em Barros e Guimarães (1998) e CONAB (2005b)

O arroz irrigado sozinho não tem sido capaz de atender a demanda interna, mesmo com a tendência de consumo *per capita* diminuindo. Portanto, o abastecimento interno depende também, em grande parte, do arroz de terras altas para que não haja aumento das importações. Uma discussão detalhada dos fatores que levaram ao crescimento da orizicultura no Mato Grosso podem ser encontrados em Almeida (2003).

Neste estudo optou-se pela análise através do estoque, do consumo e da produção agregados para o Brasil. Tendo em vista os aspectos discutidos, a regionalização do estudo poderia ser considerada mais adequada. Porém, não se encontram disponíveis dados precisos a respeito do consumo e dos estoques regionais necessários para realizar um estudo desta natureza.

### 2.1.2 A política de garantia de preços mínimos no Brasil

Um aspecto que merece especial atenção quando se considera o mercado de arroz no Brasil diz respeito às políticas de sustentação de preços adotadas pelo governo. Os principais instrumentos visando esta finalidade são os Empréstimos do Governo Federal - EGF, as Aquisições do Governo Federal - AGF, o Prêmio para escoamento do Produto - PEP e o Contrato de Opção.

Segundo a CONAB (2005c), a finalidade do EGF é financiar a estocagem dos produtos, evitando a venda da produção na safra para saldar compromissos financeiros. O EGF é um crédito de comercialização, pelo valor do preço mínimo, com vencimento na entressafra. Existem duas modalidades de EGF: com opção de venda - COV e sem opção de venda - SOV. A modalidade EGF/SOV não admite a transferência do produto a CONAB. A modalidade EGF/COV permite ao produtor optar pela entrega do produto ao governo, com a finalidade de liquidar a dívida.

Quanto a AGF, sua finalidade é garantir, com base nos preços mínimos, a aquisição do produto pelo Governo Federal. Existem duas modalidades de AGF, a direta e a indireta. A AGF direta é a aquisição, à vista, dos produtos constantes na pauta de preços mínimos e a indireta é a transferência á CONAB de produto vinculado ao EGF/COV vencido.

O PEP constitui-se em uma subvenção econômica pelo Governo, através de leilão público, que será utilizada posteriormente pelo arrematante para aquisição de produtos pelo valor de referência garantido pelo Governo Federal (CONAB, 2005c).

Dessa forma o governo propõe-se a pagar um prêmio, calculando pela diferença entre o preço de mercado e o preço mínimo. Este prêmio é pago a quem adquirir o produto do agricultor pagando o preço mínimo. O subsídio é determinado em leilão público, em que os compradores interessados disputam o direito de comprar o produto do agricultor pelo preço mínimo. O comprador só recebe o prêmio, de fato, após comprovar a operação de compra.

Segundo CONAB (2005c), o contrato de opção tem cinco objetivos básicos. O primeiro é proteger o produtor ou cooperativa contra os riscos de queda nos preços de seu produto, já que o contrato é lançado no período da colheita de cada produto, enquanto o seu vencimento ocorrerá na respectiva entressafra. O segundo é prorrogar os compromissos do governo, em face da escassez de recursos do Tesouro Nacional. Outro objetivo consiste em criar um instrumento de seguro de preços dos produtos agrícolas no país que não esteja necessariamente associado a dispêndios imediatos de recursos por parte do Tesouro Nacional. É um dos objetivos ainda melhorar a execução das políticas oficiais de sustentação e regulação dos preços agrícolas no mercado interno, tornando-se instrumento alternativo à Política de Garantia de Preços Mínimos na época da colheita. Por fim o contrato de opção de venda tem como objetivo contribuir para acelerar o desenvolvimento dos mercados a termo e de futuros de produtos agrícolas, modernizando os instrumentos de política agrícola adotados pelo Brasil.

Desta forma, caso o governo considere que existe a necessidade de sustentar o preço de um produto incluído na política de garantia de preços mínimos, oferece-se ao agricultor a opção de comprar seu produto numa data futura e a um determinado preço, chamado de preço de exercício. Os contratos são vendidos por meio de leilão público, de forma que o agricultor que pagar mais pela opção fica com o contrato. Na época do vencimento do contrato o governo pode comprar o produto para formar estoque, comprar o produto e repassar para iniciativa privada via PEP ou ainda fazer a liquidação financeira. Isto ocorrerá desde que o exercício da opção pelo agricultor seja viável, ou seja, que este seja acima do preço de mercado. Assim, se paga um prêmio ao produtor entre a diferença de preço de mercado e o preço de exercício da opção.

Este estudo concentra-se no estoque levado de um ano safra para outro e não no estoque consumido durante o ano. Dessa forma, os mecanismos de garantia de preços mínimos a serem analisados são o PEP e as modalidades de AGF, uma vez que os contratos de opção e o EGF são mecanismos que afetam os estoques durante o ano safra.

O PEP para arroz nunca foi implementado no Brasil de fato. A explicação é que no caso do arroz, como o beneficiamento ocorre próximo as zonas de produção, não é compatível o governo pagar um prêmio para escoamento do produto e por isso a CONAB nunca operacionalizou o PEP para esse produto.

Alguns artigos se propõem a analisar a política de preços mínimos para o arroz no Brasil através de abordagens metodológicas diferentes da proposta neste trabalho. Um exemplo pode ser encontrado em Barros e Guimarães (1998).

Tabela 3 - Apoio do governo à comercialização no Brasil, período de 1985/86 a 2004/05

| Ano safra | EGF | AGF | Opções Ofertado | Opções Vendido | Opções Exercido | Repasse/recompra Ofertado | Repasse/recompra Vendido | Pmer/ Pmin[2] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1985/86 | 1.775 | 1.747,1 | | | | | | 1,04 |
| 1986/87 | 3.157 | 2.956,4 | | | | | | 0,83 |
| 1987/88 | 3.651 | 2.197,1 | | | | | | 0,82 |
| 1988/89 | 2.534 | 829,1 | | | | | | 1,14 |
| 1989/90 | 312 | 85,4 | | | | | | 1,24 |
| 1990/91 | 328 | 0,9 | | | | | | 1,67 |
| 1991/92 | 3.562 | 81,6 | | | | | | 0,88 |
| 1992/93 | 605 | 199,2 | | | | | | 0,95 |
| 1993/94 | 1.766 | 1.262,5 | | | | | | 1,02 |
| 1994/95 | 250 | 1.414,4 | | | | | | 0,99 |
| 1995/96 | 208 | 363,9 | | | | | | 1,13 |
| 1996/97 | 397 | 136,5 | - | - | - | - | - | 1,18 |
| 1997/98 | 72 | 161,3 | - | - | - | - | - | 1,38 |
| 1998/99 | 393 | 424,8 | 920,5 | 518,9 | 411,0 | - | - | 1,63 |
| 1999/00 | - | 630,6 | 836,9 | 833,7 | 767,0 | - | - | 1,38 |
| 2000/01 | - | 268,6 | - | - | - | - | - | 1,38 |
| 2001/02 | 419 | 60,0 | 1.374,3 | 611,5 | 4,6 | 343,1 | 221,9 | 1,85 |
| 2002/03 | 101 | 0,0 | - | - | - | - | - | 2,41 |
| 2003/04 | | 0,6 | - | - | - | - | - | 2,09 |

Fonte: adaptado de Brasil (2005) e IPEA (2005)

[2] Preço pago ao produtor no Brasil médio na safra dividido pelo preço mínimo médio na safra

Como é possível observar na Tabela 3, o apoio do Governo a comercialização de arroz tem variado bastante nas últimas 19 safras. As maiores participações do governo ocorreram quando a relação entre preço pago ao produtor e preço mínimo esteve abaixo de 1,0.

As maiores participações do governo no mercado via EGF ocorreram nas safras 1987/88 e 1991/92 quando, respectivamente, 31,04% e 35,25% da produção brasileira de arroz foram comercializadas via esta política. Na média do período entre 1985/86 e 2003/04, 10,3% da produção nacional de arroz foi comercializada com apoio do EGF. A maior participação do governo via AGF ocorreu em 1986/87, quando 27,95% da produção nacional de arroz foi comercializada por meio deste instrumento. Na média do período compreendido entre 1985/86 e 2003/04 6,3% da produção nacional foi comercializada fazendo-se uso da AGF. Nas safras mais recentes, entre 1998/99 e 2003/04, este valor diminui para cerca de 2,1%. A comercialização via opções foi utilizada para 3,5% da produção nacional no período entre 1998/99 e 2003/04.

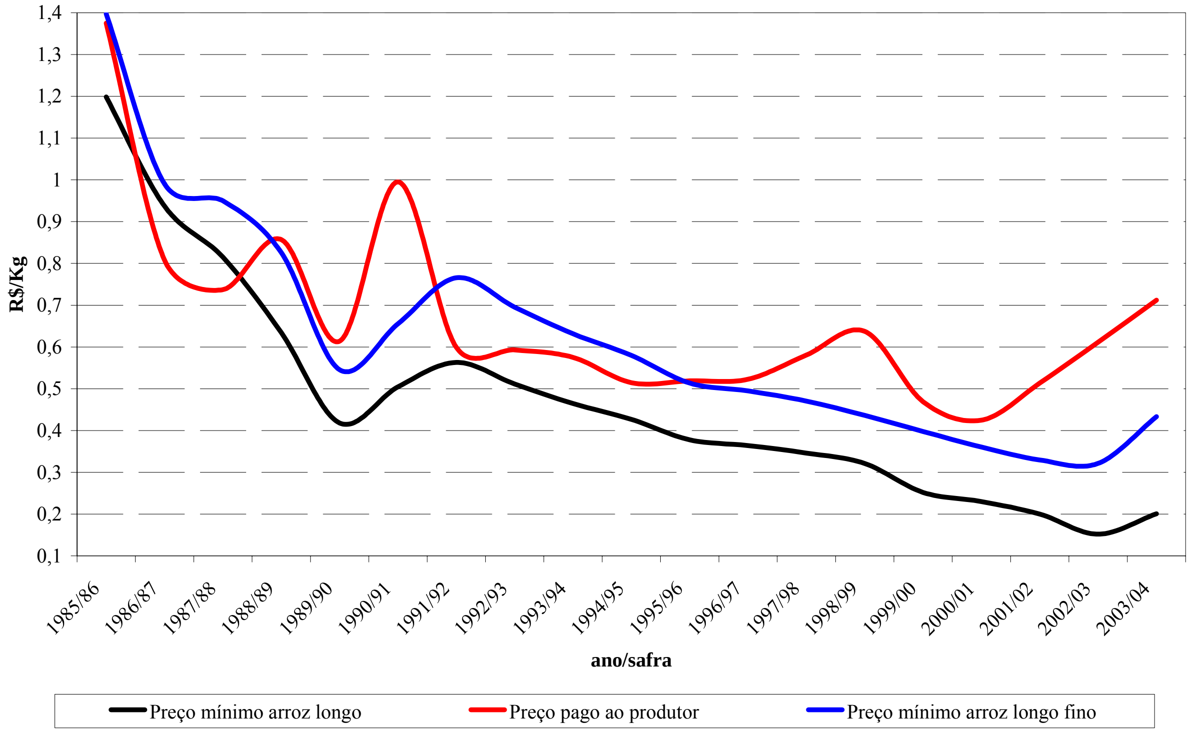



Figura 3 - Evolução dos preços pagos ao produtor e mínimos de arroz no Brasil, médios na época da colheita, 1985/86 a 2004/05

Fonte: adaptado de Brasil (2005) e IPEA (2005)

Os preços médios pagos ao produtor na época da colheita estiveram abaixo do preço mínimo médio na colheita nas safras 1986/87, 1987/88, 1991/92, 1992/93 e 1994/95. Nas safras 2002/03 e 2003/04 o preço mínimo esteve bem abaixo do preço pago ao produtor.

## 2.2 Modelo econômico

O problema do armazenamento é a alocação de uma quantidade de produto entre consumo corrente e para formação de estoques para consumo futuro. O armazenamento é uma atividade econômica envolvendo receitas e custos. Em uma economia perfeitamente competitiva seria economicamente viável, para um agente individual, armazenar uma unidade a mais de produto enquanto a diferença entre o preço esperado e o preço atual fosse maior ou igual ao custo de armazenamento.

As formulações teóricas apresentadas nesta seção baseiam-se em Barros (2005), Guimarães (2001), Wright e Willians (1988a) e Miranda e Helmberger (1988). A diferença fica por conta da introdução da perda física devido ao armazenamento ($\vartheta$). Este parâmetro foi introduzido ao modelo devido a sua importância econômica no armazemento do arroz.

A esperança dos lucros a serem obtidos com a armazenagem da quantidade $S_t^i$ do período $t$ para o período $t$+1 pela empresa $i$ pode ser representada por:

$$E_t\Pi_{t+1}^i = \left(\frac{1}{1+r}\right)(E_tP_{t+1})S_t^i - P_tS_t^i - kS_t^i - \vartheta\left(\frac{1}{1+r}\right)(E_tP_{t+1})S_t^i \quad (1)$$

em que $r$ é a taxa de juros, $E_tP_{t+1}$ denota a média da distribuição das expectativas dos preços que a firma pode encontrar no período $t$+1 formadas no período $t$, $P_t$ é o preço em $t$, $k$ é o custo médio unitário e constante do armazenamento físico, $\vartheta$ é a perda física de produto devido ao armazenamento e $S_t^i$ é o volume a ser armazenado por um agente no período $t$.

O custo de armazenamento indireto descrito em (1) proveniente das perdas físicas do armazenamento ($\vartheta$) varia de acordo com a quantidade armazenada e com a esperança de preço do produto, sendo portanto, um custo variável. Posteriormente na apresentação da metodologia de resolução do modelo, verificar-se-á que a perda física ($\vartheta$) será considerada constante ao longo do tempo e fará parte do fator de desconto, o que torna este parâmetro um multiplicador constante dentro do modelo.

Para esta firma tomadora de preços, a condição de primeira ordem de maximização do lucro esperado é:

$$\frac{\partial E_t\Pi_{t+1}^i}{\partial S_t^i} = \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_tP_{t+1}) - P_t - k = 0 \quad (2)$$

Percebe-se que $E_tP_{t+1}$ e o preço corrente de mercado $P_t$ não são influenciados pela decisão da quantidade estocada pela firma *i.* Isto é a firma é uma tomadora de preços, o que é condizente com a pressuposição de competição perfeita.

Conforme as possíveis relações entre a quantidade de estoque e o lucro esperado, adicionando-se a condição de que o estoque não pode ser negativo, podem ser resumidas através das seguintes inequações:

$$\text{Se } P_t + k - \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) = 0 \text{ ,então } S_t > 0 \tag{3}$$

$$\text{Se } P_t + k - \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq 0 \text{ ,então } S_t = 0$$

A análise da estocagem individual em competição perfeita leva à compreensão do papel da arbitragem temporal sobre os preços em dois períodos, mas não fornece elementos suficientes para avançar no problema. Apesar da formulação aparentemente simples apresentada em (3) existem implicações importantes por trás desta condição de arbitragem temporal.

O efeito do armazenamento sobre o mercado é dinâmico afetando não somente os preços e quantidades consumidas no ano safra corrente e no ano safra seguinte, mas também o preço e a quantidade consumida nos períodos seguintes. Portanto, o efeito do armazenamento é dinâmico e não estático e como tal deve ser analisado através da teoria do controle.

### 2.2.1 Problemas econômicos dinâmicos

A programação dinâmica é uma técnica matemática freqüentemente utilizada para se tomar decisões inter-relacionadas, fornecendo um procedimento sistemático para a determinação da combinação de decisões que maximiza a eficácia geral. A programação dinâmica é um tipo geral de abordagem, sendo que as equações particulares de cada problema necessitam serem desenvolvidas para se ajustarem a cada situação analisada em particular. Várias aplicações de modelos de programação dinâmica em problemas de recursos naturais podem ser encontrados em Kennedy (1986).

Os problemas dinâmicos mais comuns são relacionados à utilização de um determinado recurso no momento presente relacionando com a sua taxa de utilização no tempo. Os aspectos gerais de problemas que se caracterizam como de programação dinâmica de acordo com Hillier (1988) são: (1) o problema pode ser dividido em etapas, com a necessidade de uma decisão política a cada etapa, (2) cada etapa tem um número de estados associados a ela, (3) o efeito da decisão política é o de transformar a etapa atual numa etapa associada à próxima (geralmente de acordo com uma distribuição probabilística), (4) dado o estado atual, uma política ótima para as etapas restantes é independente da política adotada nas etapas anteriores, ou seja, o conhecimento do estado atual abrange toda a informação sobre o seu comportamento anterior, necessário para determinar a política ótima doravante, (5) o procedimento de solução começa por encontrar a política para cada estado da última etapa, (6) existe disponível uma relação recursiva, a qual identifica a política ótima para cada estado na etapa n, dada a política ótima para cada estado no estado (*n+1*) e (7) usando esta relação recursiva, o procedimento de solução vai voltando atrás etapa a etapa – encontrando a cada vez a política ótima para cada estado naquela etapa – até que se encontre a política ótima para a etapa inicial.

A programação dinâmica requer a formulação recursiva apropriada para cada problema individualmente, entretanto, ela consegue uma grande poupança computacional, em comparação com o uso da enumeração exaustiva, para encontrar a melhor combinação de decisões, especialmente para grandes problemas.

A programação dinâmica pode ser considerada para um número finito ou infinito de etapas. Segundo Hillier (1988), o modelo geral para programação dinâmica probabilística em que as etapas continuam a recorrer indefinidamente é chamado de processo de decisão markoviano. O uso do processo de decisão markoviano pode ser descrito como um processo em que no momento t um agente de mercado observa o estado do processo toma uma decisão e obtém um retorno. Este é o caso do armazenamento.

#### 2.2.1.1 Teoria do controle

Esta seção tem como objetivo apresentar a teoria do controle e discutir alguns aspectos relacionados à solução do problema e seus facilitadores. A formulação da teoria apresentada nesta seção foi baseada em Silberberg (2000).

A hipótese do problema geral de controle consiste em maximizar o valor presente do recurso, tal que

$$\underset{u(t)}{Max}\int_{t_0}^{t_1}\left[pu(t)-c(u(t),s(t),w)\right]e^{-rt}\,dt \qquad (4)$$

em que *s(t)* denota o estoque do recurso em qualquer tempo, tendo-se que inicialmente $s_0 = s(t_0)$, *u(t)* é a taxa de utilização do recurso ao longo do tempo, *p* é o preço de venda $c = c(s,u,w)$ é a função do custo de utilização do recurso em que *w* é o vetor dos preços dos fatores e $e^{-rt}$ é a taxa de desconto intertemporal em que *r* denota a taxa de juros e *t* tempo.

A taxa de variação do estoque do recurso ao longo do tempo muda em função da utilização deste (*u(t)*) e da variação da disponibilidade do recurso (*G(s(t))*)

$$\frac{\partial s(t)}{\partial t} = s'(t) = G(s(t)) - u(t)\text{, com } u(t) \geq 0 \qquad (5)$$

A equação (4) é chamada de equação de estado. A variável *u(t),* de forma geral, pertence ao conjunto de controle *U* e é chamada de variável controle.

A forma geral do problema da teoria de controle pode ser formulada como

$$\underset{u(t)}{Max}\int_{t_0}^{t_1} f(s(t),u(t),t)dt \text{, sujeito a } s'(t)=g(s(t),u(t),t) \tag{6}$$

O horizonte de planejamento considerado pode ser finito ou infinito. No segundo caso $t_1 \to +\infty$.

Em modelos dinâmicos a solução não consiste em simplesmente encontrar o valor máximo de uma determinada função, mas em encontrar a função presente que determina o conjunto de valores das variáveis econômicas maximizadas (ou minimizadas)[1] para um determinado intervalo de tempo (finito ou infinito). Por esta razão a função *f* em (6) é chamada de funcional, sendo uma função das funções *s(t)* e *u(t)*.

A solução do problema consiste em dividir o tempo em apenas dois períodos. O primeiro período é o presente e abrange *t* a $t+\Delta t$, $\Delta t>0$. O segundo período consiste no resto do tempo em análise $t+\Delta t$ a $t_1$. A função *f* em (6) representa o conjunto dos benefícios presentes e malefícios futuros de se consumir *u(t)* no momento *t*. O problema da teoria do controle pode ser interpretado como a maximização do valor presente do recurso. A integral (6), *f(s(t),u(t),t),* representam os benefícios em relação a taxa de utilização do recurso *u(t).* Quando uma decisão em utilizar o recurso é tomada, esta decisão produz uma mudança dos benefícios presentes em $f\Delta t$. Neste pequeno período de tempo, o estoque muda.

Inicialmente ignora-se exatamente a forma como o problema de controle é resolvido e assume-se que uma solução interior finita ($u^*(t),s^*(t)$) existe. Os valores ($u^*(t),s^*(t)$) representam o conjunto ótimo das variáveis de controle e estado. Embora esteja suprimido da notação $u^*$ e $s^*$ dependem dos parâmetros $s_0$ e $t_0$, etc. O valor resultante da funcional objetivo é denotado como $V(s_0,t_0)$, isto é,

$$V(s_0,t_0) \equiv \int_{t_2}^{t_1} f(s^*(t),u^*(t),t)dt \tag{7}$$

A função $V(s_0,t_0)$ é diretamente análoga à função objetivo indireta em estática comparativa e é chamada de função do valor ótimo. Entretanto é necessário encontrar um conjunto de valores ou função que maximize a integral. Esta função uma vez encontrada resulta

[1] Esta formulação utiliza o formato de máximo. O procedimento para o mínimo é análogo a este.

em alguns valores de máximo ordinário dos parâmetros do modelo. O valor marginal de um aumento no estoque inicial do recurso é $\partial V(s_0, t_0)/\partial s_0$ . De maneira geral $V_s(s(t),t)$ representa o valor marginal do recurso no momento $t$ se a variável estado $s$ aumentar exogenamente no momento $t$ e o conjunto de valores ótimos $(s(t),u(t))$. for levado do momento presente até o final do período de planejamento.

O valor marginal do estoque existente entre o período $t_0$ e o período final $t_1$ dado $s_0$ é chamado de $\lambda(t)$.

$$\lambda(t) = V_s(s^*(t), t) \tag{8}$$

O valor marginal do estoque ($\lambda(t)$) é também chamado de variável adjunta. A mudança no valor do estoque do recurso causada pela sua utilização é denotada por:

$$d[\lambda(t)s(t)]/dt = \lambda s' + s\lambda' \tag{9}$$

O valor do benefício de se utilizar o recurso a uma determinada taxa ($u(t)$) é a soma dos benefícios no presente, $f(s,u,t)$ e a mudança no máximo valor de estoque para o futuro causada por esta decisão no presente. O ótimo (bem-estar ótimo, por exemplo) é obtido mantendo-se o benefício marginal igual a zero sob o conjunto de valores ótimos $(s^*(t),u^*(t))$. Desta forma pode-se caracterizar a solução do problema de controle para cada momento $t$, $t_0 \leq t \leq t_1$.

$$\underset{u,s}{Max}\, f(s,u,t) + \lambda s' + s\lambda' \tag{10}$$

Substituindo-se a equação restrição da eq.(6) em (10) obtém-se:

$$\underset{u,s}{Max}[f(s,u,t) + \lambda g(s,u,t) + s\lambda'] \tag{11}$$

A dependência em relação a $t$ foi suprimida uma vez que as funções $u^*(t)$ e $s^*(t)$ ainda não foram encontradas e expressas em função de $t$. Diferenciando-se (11) com respeito à variável de controle ($u$) e à variável estado ($s$) obtém-se:

$$f_u + \lambda g_u = 0 \tag{12}$$

$$f_s + \lambda g_s + \lambda' = 0 \tag{13}$$

As equações (12) e (13) são chamadas de principio de máximo e de equação adjunta. Estas duas condições mais a equação estado ($s' = g(s,u,t)$) são condições necessárias para a obtenção do conjunto ótimo das variáveis de controle e de estado ($u^*(t),s^*(t)$) no período de planejamento. Uma vez determinados $u^*$ e $t^*$, também está determinado o conjunto de valores marginais de estoque ($\lambda(t)$).

Estas equações, entretanto, não são simples equações em *s*, *u* e *λ*, em que técnicas algébricas ou de estática comparativa poderiam ser aplicadas. A equação adjunta (13) e a equação estado (restrição da eq.(6)) são equações diferenciais, que via de regra são difíceis de resolver.

As equações (12) e (13) são geralmente expressas na forma chamada de Hamiltoniana:

$$H = f + \lambda g \tag{14}$$

O princípio de máximo é $\partial H/\partial u = 0$ (considerando neste caso que existe uma solução interior do problema), a equação adjunta é $\partial H/\partial s = -\lambda$. Neste problema, dado o valor inicial de estoque ($s_0$) e escolhendo um valor para *u(t)* determina-se *s'(t)* e também *s(t)* através da equação estado. Portanto existe apenas uma variável independente, a taxa de utilização do fator (*u*). Entretanto a introdução da nova variável (*λ(t)*) adiciona uma nova dimensão ao problema do que ele possui de fato, a exemplo do que acontece com a análise Lagrangeana em estática comparativa.

Utilizando o principio de máximo (12), o qual é uma equação diferencial, e aplicando o teorema da função implícita, pode-se resolvê-lo para *u*. Desta forma produz-se duas equações diferenciais de primeira ordem

$$s' = g\big(g(s, k(s,\lambda,t), t\big) \tag{15}$$

$$\lambda' = -f_s\big(s, k(s,\lambda,t), t\big) - \lambda g_s\big(s, k(s,\lambda,t), t\big) \tag{16}$$

Resolvendo-se estas equações diferenciais e usando as condições relevantes sobre o ponto final[2] para analisar as constantes de integração encontra-se o conjunto ótimo *s* e *λ*. Utilizando as soluções para estas equações encontra-se o conjunto ótimo para a variável controle (*u*) substituindo-se em *k(s,λ,t)*.

De maneira mais formal, considera-se qualquer ponto $s_0$ e $t_0$ ao longo do conjunto ótimo e não necessariamente o ponto inicial. O máximo valor da integral objetivo é uma função $V(s_0,t_0)$. Como se procede sob algum conjunto específico (*s(t), u(t)*) para um pequeno intervalo de tempo ($\Delta t$), os benefícios imediatos de *f(s,u,t)* $\Delta t$ são realizados. A função *V* é dependente das novas coordenadas ($s_0+\Delta s$, $t_0+\Delta t$) e do conjunto escolhido entre $t_0+\Delta t$ e $t_1$, final do horizonte de planejamento. $V(s_0,t_0)$ será o valor da integral objetivo quando o conjunto ótimo for encontrado para estas condições iniciais arbitrárias

---

[2] Esta condição é chamada de condição de transversalidade. Se o problema for modelado em termos de um valor inicial e final de estoque o problema pode ser resolvido sem suposições adicionais, caso contrário se houver algum estoque no final do período, seu valor marginal deve ser zero.

$$V(s_0,t_0) \geq f(s,u,t)\Delta t + V(s_0+\Delta s, t_0+\Delta t) \tag{17}$$

Aplicando o teorema do valor médio (ou alternativamente expansão de Taylor) ao último termo, tem-se aproximadamente:

$$V(s_0+\Delta s, t_0+\Delta t) = V(s_0,t_0) + V_s\Delta s + V_t\Delta t \tag{18}$$

Substituindo-se esta expressão em (17) e cancelando $V(s_0,t_0)$ de ambos os lados obtém-se:

$$f(s,u,t)\Delta t + V_s\Delta s + V_t\Delta t \leq 0 \tag{19}$$

Dividindo-se por $\Delta t$, tomando-se os limites e substituindo-se a equação estado $ds/dt = s' = g(s,u,t)$ encontra-se:

$$f(s,u,t) + V_s g(s,u,t) + V_t(s,t) \leq 0 \tag{20}$$

Sob o conjunto ótimo a inequação (20) torna-se uma equação. Esta equação é conhecida como equação Hamilton-Jacobi.

$$f(s^*,u^*,t) + V_s(s^*,t)g(s^*,u^*,t) + V_t(s^*,t) = 0 \tag{21}$$

Substituindo-se $\lambda(t) = V_s(s,t)$ em (20) obtém-se:

$$f(s,u,t) + \lambda(t)g(s,u,t) + V_t(s,t) \leq 0 \tag{22}$$

Sob o conjunto ótimo ($s^*(t), u^*(t)$) a inequação (22) torna-se:

$$f(s^*,u^*,t) + \lambda^*(t)g(s^*,u^*,t) + V_t(s^*,t) = 0 \tag{23}$$

O último termo $V_t$ (a taxa de mudança da funcional objetivo com respeito ao tempo) é uma função apenas de *s* e *t* e é independente de *u*. Entretanto, para dado *s*, o conjunto ótimo requer maximização de $H = f(s,u,t) + \lambda(t)g(s,u,t)$ com respeito à *u*. Esta é a condição de máximo (12).

A equação adjunta é também derivável de (21). Esta relação é uma identidade no tempo e nos parâmetros do sistema, em particular $s_0$, quando o conjunto é substituído para trás. Diferenciando-se a eq.(21) com respeito à $s_0$ e reordenando-se os termos

$$[f_s + V_s(s,t)g_s + V_{ss}g + V_{ts}]\left(\frac{\partial s}{\partial s_0}\right) + [f_u + V_s(s,t)g_u]\left(\frac{\partial u}{\partial s_0}\right) \equiv 0 \tag{24}$$

O último termo é zero pela condição de máximo (12), lembrando que $\lambda(t) = V_s(s,t)$. Diferenciando-se $V_s(s,t)$ com respeito a *t*,

$$\lambda'(t) = V_{ss}s' + V_{st} = V_{ss}g + V_{ts} \tag{25}$$

Com $\partial s/\partial s_0 \neq 0$ a eq. (21) implica na equação adjunta (13). Através da eq. (23) pode-se obter uma interpretação da Hamiltoniana, que é a soma dos dois primeiros termos. O último termo ($V_t$ ) indica por quanto o valor máximo da integral mudará após passado um instante de tempo, mantendo-se o estoque ($s$) constante.

As condições de otimização (12) e (13) podem também ser abordadas em termos discretos. Neste caso a formulação do problema de controle é denotada por:

$$V = \sum_{t=0}^{T} f(s_1, u_1, t)\text{, sujeito a } s_{t+1} - s_1 = g(s_t, u_t, t) \text{ e } t = 0,1,\ldots,T \tag{26}$$

Nesta formulação o termo $s_{t+1}$ - $s_t$ entra em substituição a $s'(t)$ da equação estado restrição da eq.(6) e o sinal de somatória em lugar da integral na função objetivo. As variáveis de escolha neste problema são $s_1,\ldots, s_T$ ($s_0$ e $s_{t+1}$ são dados) e $u_0,\ldots, u_T$ . Inserindo um multiplicador $\lambda_t$ a cada uma das $T+1$ restrições produz-se a função Lagrangeana.

$$L = \sum_{t=0}^{T} \left[ f(s_t, u_t, t) + \lambda_t \left( g(s_t, u_t, t) \right) - (s_{t+1} - s_t) \right] \tag{27}$$

As condições de primeira ordem para esta maximização são denotadas por:

$$\frac{\partial L}{\partial u_t} = f_u(s_t, u_t, t) + \lambda_t \left( g_u(s_t, u_t, t) \right) = 0 \qquad t = 0,1,\ldots,T \tag{28}$$

$$\frac{\partial L}{\partial s_t} = f_s(s_t, u_t, t) + \lambda_t \left( g_s(s_t, u_t, t) \right) + \lambda_t - \lambda_{t-1} = 0 \qquad t = 0,1,\ldots,T \tag{29}$$

A eq (28) é equivalente ao princípio de máximo (12) do problema de controle ótimo de tempo contínuo. Similarmente (29) é a forma discreta da equação adjunta (13), com $\lambda_t - \lambda_{t-1}$ no lugar de $\lambda'(t)$.

O problema do armazenamento, a exemplo de outros, pode ser tratado como um problema de teoria do controle autônomo. Neste caso a variável $t$ não afeta a função objetivo e a equação estado diretamente, isto é,

$$\int_{t_0}^{t_1} f(s,u)dt\text{, sujeito a } s' = g(s,u) \text{ e } s(t_0) = s_0 \tag{30}$$

Neste caso a condição de máximo é $H_u = f_u + \lambda g_u = 0$, a equação estado é $s' = g(s,u)$ e a equação adjunta $f_s + \lambda g_s + \lambda' = 0$, resultando em equações diferenciais em $s$' e $\lambda'$ que não envolvem $t$ explicitamente. Estas equações são mais simples de resolver em comparação aquelas na qual $t$ aparece explicitamente. Por razões práticas, portanto, esta modificação é importante.

Modelos em que o tempo aparece explicitamente como parte do fator de desconto $e^{-rt}$ são geralmente tratados como problemas autônomos, uma vez que a dependência com relação ao tempo pode ser facilmente eliminada. Isto é

$$Max\left\{\int_{t_0}^{t_1} f(s,u)e^{-rt}dt\right\}, \text{ sujeito a } s' = g(s,u) \text{ e } s(t_0) = s_0 \tag{31}$$

Substituindo o tempo $t$ pela variável $\alpha = e^{-rt}$ e definindo o tempo inicial e final em termos de $\alpha$, o problema imediatamente se torna autônomo.

Em modelos com a forma (31), a variável adjunta ($\lambda(t)$) é o valor presente do incremento de capital no tempo $t$. Torna-se muitas vezes conveniente resolver este problema utilizando um multiplicador de valor presente:

$$e^{-rt}m(t) = \lambda(t) \tag{32}$$

As condições necessárias de otimização neste caso são

$$H_u = e^{-rt} f_u + \lambda g_u = 0 \tag{33}$$

$$H_s = e^{-rt} f_s + \lambda g_s = -\lambda \tag{34}$$

Utilizando (32)

$$e^{-rt}m'(t) - re^{-rt}m(t) = \lambda'(t) \tag{35}$$

Escrevendo a Hamiltoniana em valor presente:

$$\mathrm{H} = e^{-rt}H = f + e^{-rt}\lambda g = f + mg \tag{36}$$

As condições de primeira ordem são

$$\mathrm{H}_u = f_u + mg_u = 0 \tag{37}$$

$$\mathrm{H}_s = f_s + mg_s = rm - m'(t) \tag{38}$$

As condições de segunda ordem são que as funções *f(s,u)* e *g(s,u)* sejam côncavas em $s$ e $u$ para todo $t$ e que *g(s,u)* seja não linear em $s$ ou $u$ e ainda que a variável adjunta seja positiva ($\lambda \geq 0$).

As equações (37) e (38) são equações diferenciais autônomas, isto é, a variável independente $t$ não entra explicitamente como um argumento separado. O sistema é geralmente de solução mais fácil quando formulado desta maneira.

#### 2.2.1.2 O armazenamento como um problema dinâmico da teoria de controle

O Problema de otimização intertemporal de armazenamento basicamente consiste em estabelecer a quantidade a ser armazenada em determinado ano para consumo nos anos seguintes. Como já foi enfatizado, trata-se de um problema de programação dinâmica, cuja solução admite que existe um ano no futuro a qual não ocorrerá armazenamento. Neste ano em particular, o consumo será igual à disponibilidade do produto. Deve-se a Gustafson (1958) a modelagem do armazenamento como um problema da teoria do controle. Esta seção foi baseada, principalmente, em seus estudos.

No início de um ano agrícola sabe-se qual o estoque proveniente do ano anterior ($S_{t-1}$) e deve-se estimar a quantidade de produto a ser produzida para o ano safra ($x_t$). A disponibilidade total ($I_t$) é a quantidade disponível para consumo e estocagem. O problema consiste em determinar qual deve ser a quantidade armazenada para a safra seguinte ($S_t$), dadas as condições de demanda, oferta, custo de armazenamento e a taxa de desconto intertemporal. A quantidade consumida ($Q_t$) é determinada simultaneamente. Estas relações são expressas a seguir

$$I_t = S_{t-1} + x_t \tag{39}$$

$$Q_t = I_t - S_t \tag{40}$$

$$Q_t = S_{t-1} + x_t - S_t \tag{41}$$

As condições que são relevantes e que devem ser estimadas a priori da derivação da regra de armazenamento são: (1) O fator de desconto $\alpha$ (igual a *1/(1+r)*, em que *r* é a taxa de juros), (2) o custo de armazenamento, (3) as condições de utilização do fator (demanda) e (4) as condições de produção agrícola (oferta). As três primeiras condições podem ser definidas convenientemente pelas seguintes funções:

$K_t(S)$ custo (em reais) de estocar a quantidade *S* no ano *t*;

$\delta_t(Q)$ valor total (em reais) atribuído a utilização da quantidade *Q* no ano *t*;

$\chi_t(x)$ distribuição de probabilidade da produção *x* no ano *t*.

Como uma alternativa ao uso da função de valor total $\delta$, pode-se, caso $\delta$ seja diferenciável, utilizar o valor marginal da função $P_t(Q)$, definida como a derivada de $\delta_t(Q)$ em relação a quantidade, ou seja:

$$P_t(Q) = \frac{d\delta_t(Q)}{dQ} \tag{42}$$

Segundo Gustafson (1958) para muitos propósitos o uso do valor marginal da função $P$ se torna mais conveniente do que o uso do valor da função total $\delta$. Verificar-se-á posteriormente que a função de valor marginal pode ser associada à demanda do produto e a função de bem-estar total ao excedente do produtor, com implicações que serão discutidas posteriormente. Entretanto inicialmente formular-se-á a solução em termos da função $\delta$.

Para especificar o critério de otimização, define-se $W_t$ (ganho ocorrido no período t) como o valor total do produto utilizado menos o custo total de estocagem, ou seja:

$$W_t = \delta_t(Q_t) - K_t(S_t) \tag{43}$$

$$W_t = \delta_t(I_t - S_t) - K_t(S_t) \tag{44}$$

Isto ocorrerá quando a quantidade utilizada ($Q_t$) iguala a disponibilidade total ($I_t$) menos a quantidade de estoque final ($S_t$).

A regra de armazenamento pode ser definida como uma função ($\theta_t$) que explicita a dependência de $S_t$ com relação à $S_{t-1}$ e $x_t$, ou seja

$$S_t = \theta_t(S_{t-1}, x_t) \tag{45}$$

A política de estoques para um período de $n$ anos (*t = 1,....,n,* em que o ano corrente é *t = 1*) é definida como o conjunto das regras de armazenamento ($\theta_1,....,\theta_n$).

Se o conjunto de regras de armazenamento for seguido consistentemente, o ganho total em qualquer ano depende da oferta inicial e da regra de armazenamento. Em algum ano no futuro (ano *t*) a produção ($x_t$) é desconhecida, portanto faz-se necessário o uso da distribuição de probabilidade da produção ($\chi_t$). Segundo Gustafson (1958) utilizando este valor de distribuição de probabilidade pode-se, para um determinado conjunto de regras de armazenamento, obter um valor esperado para $W_t$, chamado de $EW_t$. Desta forma, com as *t* distribuições de probabilidade da produção ($\chi_2,...,\chi_t$) e se as regras de armazenamento forem conhecidas ($\theta_2,...,\theta_n$), pode-se encontrar $EW_t$. Considerando $V_{1,n}$ como a soma dos ganhos esperados nos *n* anos trazidos a valor presente para o ano *1*, com uma taxa de desconto constante ($0 < \alpha < 1$) obtém-se:

$$V_{1,n} = W_1 + \alpha EW_2 + \alpha^2 EW_3 + ... + \alpha^{n-1} EW_n \tag{46}$$

Para dados valores da distribuição de produção ($\chi_2,...,\chi_n$), $V_{1,n}$ é uma função de $I_1$ e $\theta_1,...,\theta_n$, desde que $EW_t$ também seja função de $I_1$ e $\theta_1,...,\theta_n$.

Define-se a política ótima de estoque como o conjunto de valores $\theta^*{}_1,...,\theta^*{}_n$ que maximizam $V_{1,n}$ para qualquer $I_1$. Reescrevendo a equação (44) com a finalidade de simplificar a notação, em que o ganho é função do estoque formado e da disponibilidade obtém-se:

$$W_t = W_t(I_t, S_t) \tag{47}$$

Para qualquer valor possível de disponibilidade no ano *n* ($I_n$), deve-se encontrar o valor de estoque ($S_n$) a fim de maximizar $W_n(I_n, S_n)$. A função que dá um valor para $I_n$ como função de $S_n$ é a função de estoque ótimo para o ano *n* ($\theta^*{}_n$). Com a função $\theta^*{}_n$ determinada, o valor ótimo de ganho no ano *n* é determinado como uma função de $I_n$ e desta forma pode-se calcular $V^*{}_{n,n}(I_n)$.

Reescrevendo a equação (39) para o ano *n-1*,

$$I_n = S_{n-1} + x_n \tag{48}$$

em que $x_n$ (do ponto de vista do ano *n-1*) é uma variável aleatória com distribuição de probabilidade $\chi_n(x_n)$. Para obter-se o valor esperado (no ano *n-1*) do valor de ganho no ano *n* (maximizado por $\theta^*{}_n$), integra-se a função $V^*{}_{n,n}(S_{n-1} + x_n)$ pela função de distribuição de probabilidade $\chi_n(x_n)$, tornando a função dependente apenas de $S_{n-1}$. Isto é,

$$EV^*{}_{n,n}(S_{n-1}, x_n) = \varphi_{n-1}(S_{n-1}) \tag{49}$$

Esta expressão representa o valor esperado (maximizado) do ganho no ano *n* como uma função do estoque formado no ano *n-1*. No ano *n-1*, então para qualquer valor possível de $I_{n-1}$, encontra-se o valor de $S_{n-1}$, para maximizar o ganho no ano *n-1* mais o ganho esperado descontado para o ano *n*, ou seja

$$V_{n-1,n}(I_{n-1}, S_{n-1}) = W_{n-1}(I_{n-1}, S_{n-1}) + \alpha\varphi_{n-1}(S_{n-1}) \tag{50}$$

Desta forma tem-se $S_{n-1}$ como uma função de $I_{n-1}$ (e esta função é $\theta^*{}_{n-1}$) a regra de estoque ótimo para o ano *n-1*. Com $\theta^*{}_{n-1}$ determinada a soma dos valores de ganhos esperados nos anos (*n, n-1*) é uma função de $I_{n-1}$ e pode ser escrita como $V^*_{n-1,n}(I_{n-1})$. Maximizando-se (14) com respeito a $S_{n-1}$

$$V^*_{n-1,n}(I_{n-1}, S_{n-1}) = \underset{0 \le S_{n-1} \le I_{n-11}}{Max} \left[ W_{n-1}(I_{n-1}, S_{n-1}) + \alpha\varphi_{n-1}(S_{n-1}) \right] \tag{51}$$

A condição de primeira ordem do problema é representada por

$$\frac{\partial V_{n-1,n}(I_{n-1}, S_{n-1})}{\partial S_{n-1}} = \frac{\partial W_{n-1}(I_{n-1}, S_{n-1})}{\partial S_{n-1}} + \frac{\partial \alpha\varphi_{n-1}(S_{n-1})}{\partial S_{n-1}} = 0 \tag{52}$$

A condição de primeira ordem para maximizar a soma dos ganhos líquidos em dois períodos é de que o ganho de transferência de uma unidade do produto para outro período iguale a perda de não se consumir esta unidade no período atual. O volume de estoque ótimo é aquele que iguala o ganho marginal futuro à perda marginal hoje, o que corresponde à condição de otimização do armazenamento privado (arbitragem temporal).

A condição de segunda ordem do problema é representada por[3]:

$$\frac{\partial V_{n-1,n}(I_{n-1}, S_{n-1})}{\partial S^2_{n-1}} = \frac{\partial W_{n-1}(I_{n-1}, S_{n-1})}{\partial S^2_{n-1}} + \frac{\partial \alpha\varphi_{n-1}(S_{n-1})}{\partial S^2_{n-1}} < 0 \tag{53}$$

Reescrevendo a equação (39) para o ano *n-2*.

$$I_{n-1} = S_{n-2} + x_{n-1} \tag{54}$$

Com o intuito de obter o valor esperado (no ano *n-2*) da soma dos ganhos dos anos (*n-1,n*) (descontado para o ano *n-1* e maximizado por $\theta^*_{n-1}, \theta^*_n$) pode-se, desta forma, fazendo as definições necessárias obter

$$V_{n-2,n}(I_{n-2}, S_{n-2}) = W_{n-2}(I_{n-2,} S_{n-2}) + \alpha\varphi_{n-2}(S_{n-2}) \tag{55}$$

Esta equação é $S_{n-2}$ como uma função de $I_{n-2}$, e esta função é $\theta^*_{n-2}$, a regra de estoque ótimo para o ano *n-2*. Com a função $\theta^*_{n-2}$ determinada, a soma dos valores de ganhos esperados nos anos (*n-2, n-1,n*, descontados para o ano *n-2*) é uma função de $I_{n-2}$ e pode ser escrita como $V^*_{n-2,n}(I_{n-2})$. Maximizando-se (55) com respeito a $S_{n-2}$:

$$V^*_{n-2,n}(I_{n-2}, S_{n-2}) = \underset{0 \le S_{n-2} \le I_{n-21}}{Max} \left[ W_{n-2}(I_{n-2,} S_{n-2}) + \alpha\varphi_{n-2}(S_{n-2}) \right] \tag{56}$$

---

[3] Quando se associa a função de demanda a função de bem estar marginal, a expressão certamente será negativa, uma vez que a demanda é negativamente inclinada como pode ser visto em Guimarães (2001).

O procedimento geral para determinar a regra de estoque ótimo no ano *t*, $\theta*_t$ $(1 \le t < n)$ pode ser determinada, uma vez que as políticas ótimas para os anos subseqüentes $(\theta*_{t+1},...,\theta*_n)$ estão agora determinados. A soma dos valores esperados de ganho nos anos (*t+1,...,n*) (maximizados por $\theta*_{t+1},...,\theta*_n$ e descontados para o ano *t+1*) é uma função conhecida de $I_{t+1}$ chamada $V*_{t+1,n}\ (I_{t+1})$. Reescrevendo a equação (39) para o período *t+1*:

$$I_{t+1} = S_t + x_{t+1} \tag{57}$$

em que (do ponto de vista do ano *t*) $x_{t+1}$ é uma variável aleatória com distribuição de probabilidade $\chi_{t+1}(x_{t+1})$, o valor esperado (no ano *t*) de $V*_{t+1,n}$ é obtido através da distribuição de probabilidade, dando origem a uma função de $S_t$, chamada $\varphi_t(S_t)$. Então para qualquer valor possível de $I_t$ existe um valor correspondente para $S_t$ que maximiza o ganho no ano *t* mais a soma esperada descontada e maximizada dos ganhos nos anos (*t+1,...,n*). Isto é o mesmo que maximizar:

$$V_{t,n}(I_t, S_t) = W_t(I_t, S_t) + \alpha\varphi_t(S_t) \tag{58}$$

Esta equação é $S_t$ como função de $I_t$, e esta função é $\theta*_t$, a regra de estoque ótimo para o ano *t*. A equação também é a soma dos ganhos esperados nos anos (*t,...,n*) (descontadas para o ano *t*) como uma função de $I_t$, chamada $V*_{t,n}\ (I_t)$. Maximizando-se (58) com respeito à $S_t$:

$$V*_{t,n}\ (I_t, S_t) = \underset{0 \le S_t \le I_t}{Max}\left[W_t(I_t, S_t) + \alpha\varphi_t(S_t)\right] \tag{59}$$

Continuando para trás até o ano 1 (ano corrente), tem-se então a política ótima para cada ano $\theta*_1,...,\theta*_n$, como o definido pelo princípio de Bellman, e também a soma maximizada dos valores esperados de ganho para todos os anos, como uma função de $I_1$, $V*_{1,n}\ (I_1)$, obtendo-se:

$$V_{1,n} = W_1(I_1, S_1) + \alpha\varphi_1(S_1) \tag{60}$$

Substituindo-se (44) em (60) obtém-se:

$$V_{1,n} = \delta_1(I_1 - S_1) - K_1(S_1) + \alpha\varphi_1(S_1) \tag{61}$$

Maximizando (61) com respeito a $S_1$:

$$V*_{1,n} = \underset{0 \le S_1 \le I_1}{Max}\left[\delta_1(I_1 - S_1) - K_1(I_1) + \alpha\varphi_1(S_1)\right] \tag{62}$$

Lembrando-se que:

$$EV^*_{2,n}(S_1, x_n) = \varphi_1(S_1) \tag{63}$$

A expressão (62) é a equação de Bellman para o problema do armazenamento.

O horizonte de planejamento não necessita ser obrigatoriamente finito, uma vez que a variável a ser maximizada é a soma, a valor presente, dos ganhos líquidos atuais e futuros. Mesmo para uma seqüência infinita de períodos a soma é finita. Para que isto ocorra é necessário que a função de valor total seja delimitada acima e abaixo, ou seja, a função de demanda tenha intervalo definido tanto no eixo do preço quanto da quantidade[4]. Outra condição é a de que o fator de desconto ($\alpha = 1/(1+r)$) esteja em um intervalo de valores entre 0 e 1 ($0 \le \alpha \le 1$) o que ocorrerá para qualquer valor de $r$ entre 0 e 1 ($0 \le r \le 1$), ou seja, qualquer valor possível de $r$.

Considerando as condições de oferta e demanda e os demais parâmetros do modelo (como custo de armazenagem, taxa de juros, etc...) iguais para todos os anos pode-se tornar o processo estacionário. Procedendo desta forma não haverá um conjunto de regras ótimas ($\theta^*_1,...,\theta^*_n$), mas uma única regra ótima para todos os anos ($\theta^* = \theta^*_1 = \theta^*_2 = ... = \theta^*_n$).

Gustafson (1958), em seu trabalho pioneiro, demonstrou que o problema do armazenamento também pode ser analisado através da função de valor marginal de bem-estar. Retomando a expressão (42),

$$P_t(Q) = \frac{d\delta_t(Q)}{dQ} \tag{42}$$

Cada um dos passos utilizados no caso anterior, da função de bem-estar utilizando-se o valor total ($\delta(Q)$), podem ser refeitos para o caso do valor marginal ($P(Q)$). Como no caso anterior inicia-se o processo a partir de um ano safra $n$ qualquer no futuro.

Para o ano $n$ deve-se pressupor um nível de estoque final ($S_n$). Se o critério da política é maximizar a soma dos valores esperados dos ganhos através dos $n$ anos, então, $S_n = 0$. Se o critério é ter um nível específico de estoque ao final do período e maximizar a soma dos valores esperados dos ganhos através dos $n$ anos, então $S_n$ deve ser igual a este nível de estoques especificado.

Para o ano *n-1* deve-se encontrar para cada valor de $I$ o valor de $S > 0$ que satisfaça a seguinte expressão

[4] A prova destas condições pode ser encontrada em Gustafson (1958).

$$\alpha E_{n-1} P_n (S_{n-1} + x_n - S_n) - k_{n-1}(S_{n-1}) - P_{n-1}(I_{n-1} - S_{n-1}) = 0 \text{, se } I_{n-1} > 0 \tag{64}$$

$$\alpha E_{n-1} P_n (S_{n-1} + x_n - S_n) - k_{n-1}(S_{n-1}) - P_{n-1}(I_{n-1} - S_{n-1}) < 0 \text{, se } I_{n-1} = 0$$

em que $E$ é o operador de expectativa (esperança matemática) com respeito ao nível de produção ($x_n$, a integral sob a distribuição de probabilidade $\chi_n(x_n)$), $\alpha$ é o fator de desconto anual, $P_n(Q_n)$ é o valor marginal da função de bem estar no ano n, $k_{n-1}(S_{n-1})$ é o custo marginal de armazenamento no ano *n-1* ,ou seja, a derivada do custo total de armazenamento ($k_{n-1}(S_{n-1}) = dK(S_{n-1})/dS_{n-1}$). Isto torna $S_{n-1}$ uma função de $I_{n-1}$, e esta função sabe-se que é a regra ótima de armazenamento para o ano *n-1* ($\theta_{n-1}(I_{n-1})$). Para os valore de $I_{n-1}$ em que não existirem valores positivos para o estoque ($S_{n-1} < 0$) tem-se que $\theta*_{n-1}(I_{n-1}) = 0$, ou seja:

$$S*_{n-1} = \theta*_{n-1}(I_{n-1}) \text{ ,em que } S_{n-1} > 0 \tag{65}$$

$$\theta*_{n-1}(I_{n-1}) = 0 \text{ ,em que } S_{n-1} = 0$$

Para o ano n-2 tem-se

$$\alpha E_{n-2} P_{n-1}\left(S_{n-2} + x_{n-1} - \theta*_{n-1}(S_{n-2} + x_{n-1})\right) - k_{n-2}(S_{n-2}) - P_{n-2}(I_{n-2} - S_{n-2}) = 0 \tag{66}$$

obtendo-se

$$S_{n-2} = \theta*_{n-2}(I_{n-2}) \text{, em que } S_{n-2} > 0 \tag{67}$$

$$\theta*_{n-2}(I_{n-2}) = 0 \text{, em que } S_{n-2} = 0$$

De forma geral tem-se:

$$\alpha E_t P_{t+1}\left(S_t + x_{t+1} - \theta*_{t+1}(S_t + x_{t+1})\right) - k_t(S_t) - P_t(I_t - S_t) = 0 \tag{68}$$

obtendo-se

$$S_t = \theta*_t(I_t) \text{ ,em que } S_t > 0 \tag{69}$$

$$\theta*_t(I_t) = 0 \text{ ,em que } S_t = 0$$

Desta forma a regra ótima para cada período, $\theta*_1$, ..., $\theta*_n$ está determinada segundo o princípio de Bellman[5].

Para a maioria das aplicações práticas a função inversa da função da regra de armazenamento ($\theta(I)$), definida como $\theta^{-1}(I)$ é única para $S > 0$, isto é, a função $\theta(I)$ é monotônicamente crescente para todos os valores de $I$ em que $\theta(I) > 0$. O resultado consiste em

[5] A prova matemática da equivalência entre os métodos de valor marginal e valor total pode ser encontrada em Gustafson (1958) apêndice 6.

obter $I$ como uma função de $S$, e esta função é a inversa da regra ótima de armazenamento para o ano em questão ($\theta_t^{-1}(I)$).

Para o caso de estacionariedade, o procedimento é essencialmente o mesmo, mas as iterações são continuas até $\theta$ convergir. Isto é se $\theta^*(I)$ é a regra ótima de armazenamento estacionária, então tem-se sucessivas aproximações $\theta_0(I), \theta_1(I), ..., \theta_m(I)$, até que $\lim_{m \to \infty} \theta_m(I) = \theta^*(I)$ é obtida deixando $\theta_0 = 0$ (ou qualquer constante positiva ou qualquer função monotônicamente crescente) e (para $m = 1,2,....$) encontrando $\theta_m(I)$ para satisfazer a condição

$$\alpha EP[\theta_m(I) + x - \theta_{m-1}(\theta_m(I) + x)] - k[\theta_m(I)] - P[I - \theta_m(I)] = 0 \qquad (70)$$

Para todos os valores de $I$. Alternativamente dadas as condições já especificadas de inversão da função de estoque ótimo

$$\alpha EP[S + x - \theta_{m-1}(S + x)] - k[S] - P[\theta^{-1}{}_m(S) - S] = 0 \text{, para } S > 0 \qquad (71)$$

A regra ótima de armazenamento estacionária $\theta^*(I)$ é a função que satisfaz a equação para todos os valores de $I$, ou seja:

$$\alpha EP[\theta(I) + x - \theta(\theta(I) + x)] - k[\theta(I)] - P[I - \theta(I)] = 0 \qquad (72)$$

Alternativamente e dadas as condições especificadas para a inversão da função ótima de armazenamento, tem-se:

$$\alpha EP[S + x - \theta(S + x)] - k[S] - P[\theta^{-1}(S) - S] = 0 \text{ ,em que } S > 0 \qquad (73)$$

Pode-se reescrever a equação anterior como:

$$\theta^{-1}(S) = S + P^{-1}\left\{\alpha \int_0^\infty P[S + x - \theta(S + x)] d\chi(x) - k(S)\right\} \qquad (74)$$

em que $P^{-1}$ é a inversa da função de bem estar marginal ($P$) e o operador de expectativa (esperança matemática) é substituído pela integral sob a distribuição $\chi(x)$.

Os ganhos e perdas de bem-estar para os consumidores e produtores devidos à possibilidade de estocagem intertemporal, são os valores dos efeitos esperados para o futuro mais os efeitos no período inicial. Com esta mesma base teórica é possível fazer a análise para um mercado aberto ou ainda com intervenções governamentais.

Em um mercado competitivo a solução maximizadora de lucro encontrada para agentes individuais neutros ao risco corresponde à condição de Kuhn-Tucker para um contexto em que as decisões fossem tomadas por um agente controlador central que visasse a maximização do bem-estar social, ou seja, um armazenamento socialmente ótimo[6]. O que as difere basicamente é quem toma a decisão. Quando se considera um mercado competitivo, como será proposto na seção 2.2.2, a decisão da armazenagem é resultado da ação do conjunto dos agentes do mercado. Quando se considera a teoria do controle a decisão fica a cargo de um planejador central, no caso, o governo.

Portanto as abordagens são consideradas equivalentes, levando aos mesmos resultados. A grande diferença é que a única forma de se obter a solução do problema é através da modificação da formulação de equilíbrio competitivo com expectativas racionais em uma formulação de otimização dinâmica.

#### 2.2.1.3 Bem estar

O valor do ganho a ser maximizado pode ser definido como o valor monetário esperado do produto utilizado menos o custo de estocagem da quantidade armazenada para o período seguinte. Considerando a incerteza inerente à abordagem de eventos futuros, utiliza-se o valor esperado do ganho total. O termo esperado é utilizado no sentido de expectativa racional, o que implica que este depende das distribuições de probabilidade das variáveis aleatórias e que a expectativa é formada de maneira endógena a partir das variáveis do modelo, além das condições de que os agentes usam toda a informação disponível no momento da tomada de decisão e não cometem erros de forma sistemática (Guimarães, 2001). O valor total pode ser definido também como a área sob a curva de demanda analisada a partir da quantidade consumida naquele ano e acima da curva de oferta para o mesmo intervalo, em outras palavras, é o bem estar.

A exemplo de vários outros trabalhos, este considera que não há distorções neste mercado e que não existem outras fontes de instabilidade na economia além do mercado em estudo. O trabalho também considera que os efeitos de bem-estar podem ser medidos através de mudanças ocorridas no excedente do produtor e do consumidor, que o valor do excedente é satisfatoriamente aproximado por cálculos através das curvas de oferta e demanda de mercado e que estas curvas representam o mercado do produto em questão.

A função de bem-estar marginal pode ser associada à demanda inversa pelo produto e a função de bem-estar com o excedente do consumidor. O excedente do consumidor é medido através da integração da função de demanda inversa com relação á quantidade consumida, ou

[6] A prova pode ser encontrada detalhadamente em Samuelson (1971).

seja, é definida pela área à esquerda da curva de demanda. Este procedimento não é uma unanimidade na literatura. O uso do excedente do consumidor marshalliano como uma medida de bem estar é freqüentemente visto como uma fraqueza notória da literatura de estabilização de preços em mercados de *commodity.* Para medir o bem-estar através do excedente do consumidor, portanto, faz-se necessário discutir algumas críticas inerentes a este processo.

Quando a curva de demanda considerada for Hicksiana (com a utilidade mantida constante e a renda variando), a área à esquerda da curva representa a máxima quantidade que o consumidor pagaria para obter determinada quantidade de produto. Esta medida para as demandas não compensadas tem a propriedade de serem bem definidas, ou pelo menos de serem observáveis. Por outro lado, se as curvas forem Marshalianas (com a utilidade variando e a renda mantida constante) a área à esquerda da demanda, não representa uma quantidade observável. O valor monetário do ganho associado aos preços é gerado por uma integral que possui uma trajetória independente. Desta forma ter-se-ão diferentes ajustes de preço ocasionados pela mesma renda inicial e final que gerarão diferentes interpretações monetárias do ganho do consumidor em valores de utilidade.

Willig (1976) demonstra que o erro associado ao uso do excedente do consumidor como aproximação da medida de bem-estar pode ser muito pequeno. De forma geral, o erro será pequeno caso a elasticidade renda da demanda ou a participação do bem nos gastos do consumidor sejam baixos. Hoffmann (2000) calculou com base em dados da POF 1995/1996 a elasticidade-renda do dispêndio de vários produtos, entre eles o arroz, apresentando uma elasticidade média de 0,014. Martins (1988) estimou as elasticidades renda da despesa de vários alimentos, utilizando ajustes poligonais, com dados da POF 1987/88 encontrando para o arroz um valor de 0,009. Não foram encontradas estimativas para a elasticidade renda da demanda do arroz no Brasil. Ainda com respeito as observações de Willig (1976), segundo o IBGE (2005a) a participação do arroz nas despesas com alimentação dos consumidores brasileiros medidos pela POF 2002/03 é de 4,64%. A participação na renda será menor do que isto.

Wright e Willians (1982) pressupondo uma função de bem-estar individualista e com indivíduos idênticos, afirmam que a mudança na área sob a curva de demanda é uma medida exata da mudança de bem-estar apenas se a utilidade marginal da renda for constante sob o nível de preços relevante. Segundo os autores isto será verdade se $R = \eta y$ sob o nível de preços relevantes, em que $R$ é o coeficiente de aversão ao risco relativo com respeito a renda e $\eta y$ é a elasticidade renda da demanda. Esta condição é satisfeita se, por exemplo, $R$ é constante e a função indireta de utilidade tiver a forma aditiva separável para cada período: $V = A(P) + F(Y)$, em que $F(Y)$ é log-linear em $log\ (Y)$ (neste caso $R = \eta y = 1$), ou em ($Y$) (neutralidade ao risco, $\eta y = 0$).

Wright e Willians (1988b) demonstram que em um equilíbrio parcial simples, em que a *commodity* tem uma baixa participação no orçamento do consumidor, estas críticas têm pequena importância. Nestes casos o erro atrelado ao uso do excedente do consumidor marshaliano esperado é trivial em comparação a erros associados às funções de oferta e demanda mal especificadas.

### 2.2.2 Modelos propostos

O objetivo desta seção é demonstrar algumas implicações microeconômicas da introdução da armazenagem no equilíbrio de mercado em várias condições. A apresentação a seguir foi formulada utilizando-se a hipótese de competição perfeita. Os modelos propostos foram baseados, principalmente, em Guimarães (2001), Wright e Willians (1984), Wright e Willians (1991) e Glauber e Miranda (1993).

#### 2.2.2.1 Um modelo para economia fechada sem intervenção do governo

Cada produtor decide individualmente quanta área está disposto a destinar ao plantio de determinado produto através da maximização do lucro esperado. Esta relação pode ser apresentada da seguinte forma:

$$E\Pi_t^i = \left(1/_{1+r}\right) E_t\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right) \times A_t^i - C_t\left(A_t^i\right) \tag{75}$$

em que $A_t^i$ é a área a ser plantada pelo produtor $t$, $E_t\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right)$ é a expectativa da receita por unidade de área em $t$ para o período seguinte $t+1$ em que $P_{t+1}$ é o preço e $y_{t+1}$ é a produtividade no ano $t+1$, $C_t$ é o custo de produção em função da área plantada, $\left(1/_{1+r}\right)$ é a taxa de desconto em que $r$ é a taxa de juros. Em um ambiente competitivo o lucro esperado é zero, desta forma tem-se:

$$E\Pi_t^i \left(1/_{1+r}\right) E_t(P_{t+1} \times y_{t+1}) \times A_t^i - C_t(A_t^i) = 0 \tag{76}$$

e portanto:

$$\left(\frac{1}{1+r}\right)E_t\left(P_{t+1}\times y_{t+1}\right)\times A_t^i = C_t\left(A_t^i\right) \tag{77}$$

A condição de primeira ordem para maximização do lucro do produtor em relação à área plantada será:

$$\frac{\partial E\Pi_t^i}{\partial A_t^i} = \left(\frac{1}{1+r}\right)E_t\left(P_{t+1}\times y_{t+1}\right) - \frac{\partial C_t\left(A_t^i\right)}{\partial A_t^i} = 0 \tag{78}$$

em que $\frac{\partial C_t\left(A_t^i\right)}{\partial A_t^i}$ é o custo marginal por hectare e $\left(\frac{1}{1+r}\right)E_t\left(P_{t+1}\times y_{t+1}\right)$ é a receita marginal por hectare em valor presente. Sob hipótese de competição perfeita o custo marginal por hectare é igual à receita marginal por hectare. A área a ser plantada atende à condição de equilíbrio dada por (78) e é uma função da receita esperada:

$$A_t = A\left[E_t\left(P_{t+1}\times y_{t+1}\right)\right] \tag{79}$$

$$\frac{\partial A_t}{\partial E_t\left(P_{t+1}\times y_{t+1}\right)} > 0 \tag{80}$$

Tem-se ainda que o custo marginal (considerado igual ao custo médio) é igual à receita esperada trazida a valor presente em uma implicação direta da expressão (78)

$$E_t\left(P_{t+1}\times y_{t+1}\right) = (1+r)\times\left(\frac{\partial C_t\left(A_t^i\right)}{\partial A_t^i}\right) \tag{81}$$

portanto a área esperada também é uma função do custo marginal e por conseqüência do custo médio quando estes estiverem no ponto de máximo lucro.

A área cresce em função do preço esperado porque o custo marginal por hectare é crescente. A produção esperada no ano $t$ ($x_t$) é produto da área plantada no período anterior ($A_{t-1}$) e da produtividade esperada em $t$ ($y_t$).

$$x_t = A_{t-1}\times y_t \tag{82}$$

em que $x_t$ é a produção no período $t$

A quantidade consumida no período $t$ $(Q_t)$ pode ser representada pela seguinte relação

$$Q_t = I_t - S_t \tag{83}$$

em que $S_t$ é a quantidade estocada do período $t$ para o período $t+1$ e $I_t$ é a quantidade disponível para consumo no período $t$.

A disponibilidade do produto para consumo no período *t* pode ser descrita pela relação a seguir:

$$I_t = x_t + (1-\vartheta)S_{t-1} \tag{84}$$

em que $\vartheta$ é a perda física de produto devido ao armazenamento do período t-1 ao período t.

Este volume de produto disponível poderá ser utilizado para consumo ou ser armazenado. Rearranjando a equação (83) tem-se a relação a seguir:

$$I_t = S_t + Q_t \tag{85}$$

Uma forma de encontrar a solução para o problema é pressupor que existirá arbitragem intertemporal de preços no mercado através da atividade de armazenamento até que:

$$\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) = P_t + k \tag{86}$$

em que $k$ é o custo marginal de estocagem e $\vartheta$ é a perda física de produto devido ao armazenamento.

Pressupondo que os consumidores possuem funções de demanda idênticas, a demanda inversa de consumo pode ser descrita por:

Se $P_t = P(Q_t, \upsilon_t)$,então $P > 0$ (87)

em que $\partial P_t / \partial Q_t < 0$ e $\upsilon_t$ é o choque aleatório associado à demanda inversa.

Pressupondo-se que as funções de oferta e demanda de área são as mesmas para todos os anos, a regra intertemporal de arbitragem pode ser representada por

$$\begin{aligned} &\text{Se} \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(EP_{t+1}) \geq P_t + k\text{, então } S_t \geq 0 \\ &\text{Se} \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(EP_{t+1}) < P_t + k\text{, então } S_t = 0 \end{aligned} \tag{88}$$

É importante observar que o preço esperado (baseado em expectativa racional) para o período *t+1* é uma função do estoque formado no período t e do estoque a ser formado no período seguinte *t+1*.

$$E_t P_{t+1} = f\big((1-\vartheta)S_t + x_{t+1} - S_{t+1}\big) \tag{89}$$

O que se procura é encontrar o valor do estoque no período *t* que soluciona a expressão apresentada a seguir:

$$\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) f\left[(1-\vartheta)S_t + (A_t \times y_{t+1}) - S_{t+1}\right] - P_t\left[(1-\vartheta)S_{t-1} + (A_{t-1} \times y_t) - S_t\right] - k = 0 \quad (90)$$

No período *t* a produtividade, o custo de armazenamento, a área e os valores de estoque inicial são conhecidos. A produtividade em *t+1* e o estoque a ser formado em *t* e *t+1* não são conhecidos. A área a ser plantada no período *t* depende das decisões de estocagem no momento presente (*t*) e das decisões de estocagem futuras.

#### 2.2.2.2 Um modelo para economia fechada com intervenção do governo via PEP

Este modelo segue os mesmos passos do modelo anterior, porém leva em conta a existência de preços mínimos com intervenção do governo via PEP. O pressuposto principal é que o preço mínimo para a época de colheita é conhecido na época de plantio. Neste caso quando ocorre intervenção do governo instala-se um diferencial entre o preço recebido pelo produtor e o preço de mercado, dando origem a um prêmio.

O prêmio ($\rho_t$) a ser recebido pelo produtor e pago pelo governo segue as relações a seguir:

$$\begin{aligned} &\text{Se } P_t^M > P_t \text{, então } \rho_t = P_t^M - P_t \\ &\text{Se } P_t^M < P_t \text{, então } \rho_t = 0 \end{aligned} \quad (91)$$

em que $P_t^M$ é o preço mínimo em t e $\rho_t$ é o prêmio a ser pago pelo governo e recebido pelo produtor em t.

O subsídio total ($\Theta_t$) será dado por:

$$\Theta_t = x_t \times \rho_t \quad (92)$$

em que $x_t$ é a produção no período t.

De acordo com a eq. (91) esperança de prêmio por unidade de produto segue a relação a seguir

$$E_t\rho_{t+1} = E_t\left[Max\left(P_{t+1}^M - P_{t+1}, 0\right)\right] \quad (93)$$

A esperança de gasto do governo é definida por:

$$E_t\Theta_{t+1} = E_t(A_t \times y_{t+1} \times \rho_{t+1}) \quad (94)$$

Esta formulação é condizente com a política de PEP no Brasil. A esperança de receita com o prêmio, a ser recebido pelo produtor, segue a seguinte relação:

$$E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1}) = E_t\left[Max\left(P_{t+1}^{M} - P_{t+1}, 0\right) \times y_{t+1}\right] \tag{95}$$

A maximização do lucro é definida por:

$$E\Pi_t^i = \left(1/_{1+r}\right)\left[E_t\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right) + E_t\left(\rho_{t+1} \times y_{t+1}\right)\right] \times A_t^i - C_t\left(A_t^i\right) \tag{96}$$

Em um ambiente competitivo o lucro esperado é zero, desta forma tem-se, portanto,

$$\left(1/_{1+r}\right)\left[E_t\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right) + E_t\left(\rho_{t+1} \times y_{t+1}\right)\right] \times A_t^i = C_t\left(A_t^i\right) \tag{97}$$

A condição de primeira ordem para maximização do lucro do produtor em relação à área plantada é definida por:

$$\frac{\partial E\Pi_t^i}{\partial A_t^i} = \left(1/_{1+r}\right)\left[E_t\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right) + E_t\left(\rho_{t+1} \times y_{t+1}\right)\right] - \frac{\partial C_t\left(A_t^i\right)}{\partial A_t^i} = 0 \tag{98}$$

em que $\frac{\partial C_t\left(A_t^i\right)}{\partial A_t^i}$ é o custo marginal por hectare e $(1/1+r)[E(P_{t+1} \times y_{t+1}) + E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1})]$ é a receita marginal por hectare. A área plantada neste caso será uma função do valor máximo entre o equilíbrio de mercado e o preço. A exemplo do caso anterior cada produtor decide individualmente quanta área está disposto a destinar ao plantio. Sob hipótese de competição perfeita o custo marginal por hectare é igual à receita marginal por hectare. A área a ser plantada atende a condição de equilíbrio dada por (98) e é uma função da receita esperada:

$$A_t = A[E(P_{t+1} \times y_{t+1}) + E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1})] \tag{99}$$

$$\frac{\partial A_t}{\partial[E(P_{t+1} \times y_{t+1}) + E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1})]} > 0 \tag{100}$$

A produção esperada no ano *t*( $x_t$ ) é produto da área plantada no período anterior ( $A_{t-1}$) e da produtividade esperada em *t*( $y_t$ ).

$$x_t = A_{t-1} \times y_t \tag{101}$$

A quantidade consumida no período *t* ($Q_t$) pode ser representada pela seguinte relação:

$$Q_t = I_t - S_t \tag{102}$$

A disponibilidade do produto para consumo no período *t* pode ser descrita pela relação a seguir:

$$I_t = x_t + (1-\vartheta)S_{t-1} \tag{103}$$

Rearranjando a equação (102) tem-se a relação a seguir:

$$I_t = S_t + Q_t \tag{104}$$

Uma forma de encontrar a solução para o problema é considerar que existirá arbitragem intertemporal de preços no mercado através da atividade de armazenamento até que:

$$\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) = P_t + k \tag{105}$$

lembrando que a esperança do preço em *t+1* é restrita a preços maiores ou iguais ao preço mínimo. Pressupondo que os consumidores possuem funções de demanda idênticas, a demanda inversa de consumo pode ser descrita da seguinte forma:

$$\text{Se } P_t = P(Q_t, \upsilon_t)\text{, então } P_t > P_t^M \tag{106}$$

em que $\partial P_t / \partial Q_t < 0$ e $\upsilon_t$ é o choque aleatório associado à demanda inversa.

A regra intertemporal de arbitragem pode ser representada por:

$$\begin{aligned} &\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{, então } S_t \geq 0 \\ &\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t + k \text{, então } S_t = 0 \end{aligned} \tag{107}$$

em que a esperança do preço em *t+1* é restrita a preços maiores ou iguais ao preço mínimo ($E_t P_{t+1} \geq P_{t+1}^M$).

O preço esperado (baseado em expectativa racional) para o período *t+1* é uma função do estoque formado no período *t* e do estoque a ser formado no período seguinte *t+1*.

$$E_t P_{t+1} = f\big((1-\vartheta)S_t + x_{t+1} - S_{t+1}\big)\text{, em que } E_t P_{t+1} > P_{t+1}^M \tag{108}$$

O que se procura é encontrar o valor do estoque no período *t* que soluciona a expressão apresentada a seguir:

$$\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) f\big[(1-\vartheta)S_t + (A_t \times y_{t+1}) - S_{t+1}\big] - P_t\big[(1-\vartheta)S_{t-1} + (A_{t-1} \times y_t) - S_t\big] - k = 0 \tag{109}$$

### 2.2.2.3 Um modelo para economia fechada com intervenção do governo via AGF

Este modelo segue os mesmos passos do modelo de economia fechada sem intervenção, porém leva em conta a existência de preços mínimos e intervenção do governo via AGF. Neste caso o governo intervém no mercado, com o intuito de diminuir a disponibilidade interna do produto, garantindo desta forma um preço mínimo ao produtor.

Quando o preço mínimo for maior que o preço de mercado, o governo formará estoques ($G_t$) até que o preço mínimo se iguale ao preço de mercado. Neste caso, quando o governo estocar produto, não haverá formação de estoques privados. Caso o preço mínimo seja menor que o preço de mercado o governo não irá formar estoques, havendo neste caso apenas estoques privados. Estas relações podem ser descritas como:

$$\begin{gathered} \text{Se } P_t^M > P_t(Q_t, \upsilon_t) \text{, então } G_t = I_t - Q_t \\ \text{Se } P_t^M < P_t(Q_t, \upsilon_t) \text{, então } G_t = 0 \end{gathered} \tag{110}$$

em que $P_t^M$ é o preço mínimo em t, $G_t$ é o estoque do governo em t e a demanda inversa de consumo em t é $P_t = P(Q_t, \upsilon_t)$.

Neste caso o governo forma estoques, mesmo com expectativa de obtenção de prejuízo na atividade no período seguinte, o que não é condizente com a regra de arbitragem temporal. Estes prejuízos esperados ($\gamma_{t+!}$) por unidade de produto podem ser descritos por:

$$E(\gamma_{t+1}) = P_t^M + k - \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) E(P_{t+1}) \tag{111}$$

O prejuízo total esperado, do governo com a atividade de armazenagem, pode ser representado por:

$$E(\Xi_{t+1}) = E(\gamma_{t+1}) \times G_t = \left[ P_t^M + k - \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) E(P_{t+1}) \right] \times G_t \tag{112}$$

A maximização do lucro esperado pelo produtor em t é definida, a exemplo do modelo básico, por:

$$E\Pi_t^i = \left( 1/_{1+r} \right) E_t \left( P_{t+1} \times y_{t+1} \right) \times A_t^i - C_t \left( A_t^i \right) \tag{113}$$

Em um ambiente competitivo o lucro esperado é zero, desta forma tem-se:

$$\left( 1/_{1+r} \right) E_t \left( P_{t+1} \times y_{t+1} \right) \times A_t^i = C_t \left( A_t^i \right) \tag{114}$$

A condição de primeira ordem para maximização do lucro do produtor em relação à área plantada é definida, a exemplo do modelo básico, por:

$$\frac{\partial E\Pi_t^i}{\partial A_t^i} = \left(\frac{1}{1+r}\right) \times \left[E\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right)\right] - \frac{\partial C_t\left(A_t^i\right)}{\partial A_t^i} = 0 \qquad (115)$$

$$A_t = A\left[E(P_{t+1} \times y_{t+1})\right] \qquad (116)$$

$$\frac{\partial A_t}{\partial\left[E(P_{t+1} \times y_{t+1})\right]} > 0 \qquad (117)$$

A produção esperada no ano *t* ( $x_t$ ) é produto da área plantada no período anterior ( $A_{t-1}$ ) e da produtividade esperada em *t* ( $y_t$ ).

$$x_t = A_{t-1} \times y_t \qquad (118)$$

A quantidade consumida no período *t* ($Q_t$) pode ser representada pela seguinte relação:

$$Q_t = I_t - S_t - G_t \qquad (119)$$

A disponibilidade do produto para consumo no período *t* pode ser descrita pela relação a seguir:

$$I_t = x_t + (1-\vartheta)\left(S_{t-1} + G_{t-1}\right) \qquad (120)$$

Rearranjando a eq. (119) tem-se a relação a seguir:

$$I_t = G_t + S_t + Q_t \qquad (121)$$

Uma forma de encontrar a solução para o problema é considerar que existirá arbitragem intertemporal de preços no mercado através da atividade de armazenamento privada até que:

$$\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) = P_t + k \qquad (122)$$

lembrando que a esperança do preço em *t+1* é restrita a preços maiores ou iguais ao preço mínimo. Pressupondo que os consumidores possuem funções de demanda idênticas, a demanda inversa de consumo pode ser descrita da seguinte forma:

$$P_t = P(Q_t, \upsilon_t) \qquad (123)$$

em que $\partial P_t / \partial Q_t < 0$ e $\upsilon_t$ é o choque aleatório associado à demanda inversa.

A regra intertemporal de arbitragem, para anos em que existir armazenamento privado e não ocorrer estoque público pode ser representada pela relação expressa em (107) a seguir. Neste caso o governo não intervém uma vez que o preço de mercado esta acima do preço mínimo.

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{ , } S_t \geq 0 \text{ e } G_t = 0 \text{ , caso } P_t^M < P_t \tag{124}$$

Quando o governo formar estoques não haverá armazenamento privado. Este caso segue a seguinte relação:

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{ , } S_t = 0 \text{ e } G_t \geq 0 \text{ , caso } P_t^M > P_t \tag{125}$$

A intervenção governamental é feita através de diminuição da disponibilidade interna de produto. Desta forma o governo armazenará produto até que o preço de mercado atinja o mesmo nível do preço mínimo, ou seja:

$$\text{Se } G_t \geq 0 \text{ , então } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t^M + k \text{ , em que } P_t^M = P_t \tag{126}$$

Portanto, com a entrada do governo armazenando produto no mercado, a um preço mais alto que o que seria vigente inicialmente no mercado, a atividade de armazenamento privado torna-se inviável economicamente e seguirá a relação a seguir.

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t + k \text{ , em que } P_t^M = P_t \text{, então } S_t = 0 \text{ e } G_t \geq 0 \tag{127}$$

Não ocorrerá armazenamento privado e público no caso descrito em (128), onde o preço de mercado esta acima do preço mínimo e o preço esperado descontado é menor que o preço de mercado mais os custos.

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t + k \text{ , } S_t = 0 \text{ e } G_t = 0 \text{ , caso } P_t^M < P_t \tag{128}$$

O preço esperado (baseado em expectativa racional) para o período *t+1* é uma função dos estoques públicos e privados formado no período *t* e dos estoques públicos e privados a serem formados no período seguinte *t+1*.

$$E_t P_{t+1} = f\left[(1-\vartheta)\left(S_t + G_t\right) + x_{t+1} - S_{t+1} - G_{t+1}\right] \tag{129}$$

O que se procura é encontrar o valor do estoque no período *t* que soluciona a expressão apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} &\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) f\left[(1-\vartheta)\left(S_t + G_t\right) + (A_t \times y_{t+1}) - S_{t+1} - G_{t+1}\right] - \\ &P_t\left[(1-\vartheta)\left(S_{t-1} + G_{t-1}\right) + (A_{t-1} \times y_t) - S_t - G_t\right] - k = 0 \end{aligned} \tag{130}$$

### 2.2.2.4 Um modelo para economia aberta sem intervenção do governo

Neste modelo as funções de demanda, oferta de área e a equação de produção total são idênticas ao modelo para mercado fechado sem intervenção:

$$A_t = A\left[E_t\left(P_{t+1} \times y_{t+1}\right)\right] \tag{131}$$

$$x_t = A_{t-1} \times y_t \tag{132}$$

$$\text{Se } P_t = P(Q_t, \upsilon_t), \text{ então } P > 0 \tag{133}$$

A possibilidade de importação será incluída no modelo através da seguinte restrição

$$\begin{aligned} &\text{Se } P_t^{IMP} - P_t < 0 \text{,então } M_t > 0 \\ &\text{Se } P_t^{IMP} - P_t \geq 0 \text{,então } M_t = 0 \end{aligned} \tag{134}$$

em que $P_t^{IMP}$ é o preço de importação do produto e $M_t$ é a quantidade importada. Quando o preço de importação for menor que o preço no mercado interno ($P_t$), o país importará, caso contrário não ocorrerá importação. Percebe-se claramente que a possibilidade de exportação do produto é desconsiderada. Optou-se por restringir o comércio internacional somente à importação tendo em vista que as quantidades exportadas pelo Brasil nas últimas 20 safras podem ser desconsideradas da análise e que a exportação de arroz brasileiro é, em grande parte, de arroz quebrado.

A disponibilidade do produto para consumo no período *t* incorporando a possibilidade de importação é definida da seguinte forma

$$I_t = x_t + (1-\vartheta)S_{t-1} + M_t \tag{135}$$

A quantidade consumida no período *t* $(Q_t)$ considerando a possibilidade de importação continuará definida como anteriormente, uma vez que a disponibilidade incorpora a quantidade importada e pode ser representada pela seguinte relação:

$$Q_t = I_t - S_t = x_t + (1-\vartheta)S_{t-1} + M_t - S_t \tag{136}$$

rearranjando-se,

$$I_t = S_t + Q_t \tag{137}$$

A regra de arbitragem temporal é definida por

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{ , então } S_t \geq 0$$
$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t + k \text{ , então } S_t = 0 \qquad (138)$$

O preço esperado será uma função dos estoques (inicial e final), da produção e da importação:

$$E_t P_{t+1} = f(S_t + x_{t+1} - S_{t+1} + M_{t+1}) \qquad (139)$$

Procurar-se-á, portanto, o valor que soluciona a expressão a seguir:

$$\begin{aligned}&\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) f\big[(1-\vartheta)S_t + (A_t \times y_{t+1}) - S_{t+1} + M_{t+1}\big] - \\ &P_t\big[(1-\vartheta)S_{t-1} + (A_{t-1} \times y_t) - S_t + M_t\big] - k = 0\end{aligned} \qquad (140)$$

#### 2.2.2.5 Um modelo para economia aberta com intervenção do governo via PEP

Este modelo é considerado um dos modelos finais que representa o mercado do arroz no Brasil, reunindo as informações dos modelos anteriores de intervenção do governo via PEP e de economia aberta. Neste modelo a área a ser plantada atende a condição de equilíbrio a exemplo do segundo modelo:

$$A_t = A\big[E(P_{t+1} \times y_{t+1}) + E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1})\big] \qquad (141)$$

$$\frac{\partial A_t}{\partial\big[E(P_{t+1} \times y_{t+1}) + E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1})\big]} > 0 \qquad (142)$$

O prêmio ($\rho_t$) a ser recebido pelo produtor e pago pelo governo segue as relações a seguir:

$$\text{Se } P_t^M > P_t \text{, então } \rho_t = P_t^M - P_t$$
$$\text{Se } P_t^M < P_t \text{, então } \rho_t = 0 \qquad (143)$$

O subsídio total ($\Theta_t$) será dado por:

$$\Theta_t = x_t \times \rho_t \qquad (144)$$

A esperança de prêmio por unidade de produto segue a relação a seguir:

$$E_t\rho_{t+1} = E_t\left[Max\left(P_{t+1}^M - P_{t+1}, 0\right)\right] \tag{145}$$

A esperança de gasto do governo é definida por:

$$E_t\Theta_{t+1} = E_t(A_t \times y_{t+1} \times \rho_{t+1}) \tag{146}$$

A esperança da receita com o prêmio a ser recebido pelo produtor segue a seguinte relação:

$$E_t(\rho_{t+1} \times y_{t+1}) = E_t\left[Max\left(P_{t+1}^M - P_{t+1}, 0\right) \times y_{t+1}\right] \tag{147}$$

A produção planejada será:

$$x_t = A_{t-1} \times y_t \tag{148}$$

A possibilidade de importação será incluída no modelo através da seguinte restrição:

$$\begin{array}{l} \text{Se } P_t^{IMP} - P_t < 0 \text{,então } M_t > 0 \\ \text{Se } P_t^{IMP} - P_t \geq 0 \text{,então } M_t = 0 \end{array} \tag{149}$$

À exemplo do quarto modelo quando o preço de importação for menor que o preço no mercado interno ( $P_t$ ), o país importará, caso contrário não ocorrerá importação.

A disponibilidade do produto para consumo no período t incorporando a possibilidade de importação é definida por:

$$I_t = x_t + (1-\vartheta)S_{t-1} + M_t \tag{150}$$

A quantidade consumida será:

$$Q_t = I_t - S_t = x_t + (1-\vartheta)S_{t-1} + M_t - S_t \tag{151}$$

rearranjando-se,

$$I_t = S_t + Q_t \tag{152}$$

A regra de arbitragem temporal é definida por:

$$\begin{array}{l} \text{Se } \left(\dfrac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{,então } S_t \geq 0 \\ \text{Se } \left(\dfrac{1-\vartheta}{1+r}\right)E_t P_{t+1} < P_t + k \text{,então } S_t = 0 \end{array} \tag{153}$$

O preço esperado será uma função dos estoques (inicial e final), da produção e da importação:

$$E_t P_{t+1} = f\left((1-\vartheta)S_t + x_{t+1} - S_{t+1} + M_{t+1}\right) \tag{154}$$

Procurar-se-á, portanto, o valor que soluciona a expressão a seguir:

$$\begin{aligned}&\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)f\left[(1-\vartheta)S_t + (A_t \times y_{t+1}) - S_{t+1} + M_{t+1}\right] - \\ &P_t\left[(1-\vartheta)S_{t-1} + (A_{t-1} \times y_t) - S_t + M_t\right] - k = 0\end{aligned} \tag{155}$$

### 2.2.2.6 Um modelo para economia aberta com intervenção do governo via AGF

Este modelo é considerado o segundo modelo final, reunindo as informações dos modelos anteriores com intervenção do governo via AGF e com economia aberta. Neste modelo a área a ser plantada atende a condição de equilíbrio a exemplo do primeiro e terceiro modelo:

$$A_t = A\left[E(P_{t+1} \times y_{t+1})\right] \tag{156}$$

$$\frac{\partial A_t}{\partial\left[E(P_{t+1} \times y_{t+1})\right]} > 0 \tag{157}$$

Os estoques públicos ($G_t$) serão formados seguindo a seguinte relação:

$$\begin{aligned}&\text{Se } P_t^M > P_t(Q_t, \upsilon_t) \text{, então } G_t = I_t - Q_t \\ &\text{Se } P_t^M < P_t(Q_t, \upsilon_t) \text{, então } G_t = 0\end{aligned} \tag{158}$$

em que $P_t^M$ é o preço mínimo em t, $G_t$ é o estoque do governo em t e a demanda inversa de consumo em t é $P_t = P(Q_t, \upsilon_t)$.

Os prejuízos esperados ($\gamma_{t+!}$) por unidade de produto podem ser descritos por:

$$E(\gamma_{t+1}) = P_t^M + k - \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)E(P_{t+1}) \tag{159}$$

O prejuízo total esperado, do governo com a atividade de armazenagem, pode ser representado por:

$$E(\Xi_{t+1}) = E(\gamma_{t+1}) \times G_t = \left[P_t^M + k - \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)E(P_{t+1})\right] \times G_t \tag{160}$$

A possibilidade de importação será incluída no modelo através da seguinte restrição:

$$\begin{aligned}&\text{Se } P_t^{IMP} - P_t < 0 \text{, então } M_t > 0 \\ &\text{Se } P_t^{IMP} - P_t \geq 0 \text{, então } M_t = 0\end{aligned} \tag{161}$$

À exemplo do quarto modelo quando o preço de importação for menor que o preço no mercado interno ( $P_t$ ), o país importará, caso contrário não ocorrerá importação.

A disponibilidade do produto para consumo no período t incorporando a possibilidade de importação e o estoque público e privado considerando as perdas é definida por:

$$I_t = x_t + (1-\vartheta)(S_{t-1} + G_{t-1}) + M_t \tag{162}$$

A quantidade consumida será:

$$Q_t = I_t - S_t - G_t = x_t + (1-\vartheta)(S_{t-1} + G_{t-1}) + M_t - S_t - G_t \tag{163}$$

rearranjando-se,

$$I_t = S_t + G_t + Q_t \tag{164}$$

A regra intertemporal de arbitragem pode ser representada, para anos em que existir armazenamento privado e não ocorrer estoque público, pela relação a seguir:

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{ , } S_t \geq 0 \text{ e } G_t = 0 \text{ ,caso } P_t^M < P_t \tag{165}$$

Quando o governo formar estoques não haverá armazenamento privado. Este caso segue a seguinte relação:

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) \geq P_t + k \text{ , } S_t = 0 \text{ e } G_t \geq 0 \text{ ,caso } P_t^M > P_t \tag{166}$$

A intervenção governamental é feita, a exemplo do terceiro modelo, através de diminuição da disponibilidade interna de produto. Desta forma o governo armazenará produto até que o preço de mercado atinja o mesmo nível do preço mínimo, tornando economicamente inviável o armazenamento privado, ou seja:

$$\text{Se } G_t \geq 0 \text{, então } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t^M + k \text{, em que } P_t^M = P_t \text{, portanto } S_t = 0 \tag{167}$$

Não ocorrerá armazenamento privado e público no caso descrito a seguir, onde o preço de mercado esta acima do preço mínimo:

$$\text{Se } \left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right)(E_t P_{t+1}) < P_t + k \text{ , } S_t = 0 \text{ e } G_t = 0 \text{, caso } P_t^M < P_t \tag{168}$$

O preço esperado (baseado em expectativa racional) para o período *t+1* é uma função dos estoques públicos e privados formado no período *t* e dos estoques públicos e privados a serem formados no período seguinte *t+1*.

$$E_t P_{t+1} = f\left[(1-\vartheta)\left(S_t + G_t\right) + x_{t+1} - S_{t+1} - G_{t+1} + M_{t+1}\right] \tag{169}$$

O que se procura é encontrar o valor do estoque no período *t* que soluciona a expressão apresentada a seguir:

$$\begin{aligned}&\left(\frac{1-\vartheta}{1+r}\right) f\left[(1-\vartheta)\left(S_t + G_t\right) + (A_t \times y_{t+1}) - S_{t+1} - G_{t+1} + M_{t+1}\right] - \\ &P_t\left[(1-\vartheta)\left(S_{t-1} + G_{t-1}\right) + (A_{t-1} \times y_t) - S_t - G_t + M_t\right] - k = 0\end{aligned} \tag{170}$$

## 2.3 Material e métodos

A metodologia para a estimação do modelo segue a formulação pioneira proposta por Gustafson (1958) que continua sendo a base para a estimação de inúmeros trabalhos sobre análise de armazenamento desta natureza.

Optou-se por utilizar a abordagem do valor marginal da função de bem estar, devido à maior facilidade operacional. A grande vantagem operacional da utilização do valor marginal, ao invés da função de valor total, se encontra no fato da primeira poder ser associada à função de demanda, o que facilita a estimação da função.

Como já foi ressaltado na seção anterior, o problema do armazenamento intertemporal corresponde a um problema de expectativas racionais com natureza dinâmica. As variáveis estado e decisão são continuas e pertencem a um conjunto fechado não nulo com tempo discreto. O comportamento do mercado ocorre através de condições de arbitragem intertemporal que são resultado da ação conjunta de inúmeros agentes individuais maximizadores.

Os métodos utilizados para solução exigem que as funções de demanda e oferta de área, o custo unitário de armazenamento, a taxa anual de juros, a distribuição de probabilidades das variáveis aleatórias (produtividade e choques de demanda) e os preços de importação e mínimos (quando for o caso) sejam conhecidos.

Como já foi abordado na seção anterior, mantendo-se constantes os parâmetros do modelo para todos anos o problema torna-se estacionário e, portanto, é possível encontrar a regra de armazenamento ótima para o equilíbrio. Desta maneira em algum momento ocorrerá convergência, de modo que a regra ótima de armazenamento seja a mesma para todos os anos. Outra condição necessária, para que ocorra a otimização é que a função objetivo seja separável, tornando-se possível obter a otimização para cada período. Isto ocorrerá quando a função objetivo é aditiva.

Conforme exposto por Guimarães (2001) a condição suficiente para maximização é que a função objetivo seja estritamente côncava no estoque ($S_t$) e na disponibilidade ($I_t$) e que ambos sejam conjuntos convexos fechados não nulos. De maneira mais clara as condições suficientes são: (1) a função inversa de demanda para consumo deve ser continua para toda e qualquer disponibilidade ($I_t$), bem como estritamente decrescente, (2) a função de oferta de área ($A_t$) deve ser crescente e contínua e (3) a função do preço esperado ($E_t P_{t+1}$) deve ser decrescente em relação ao estoque ($S_t$) e a área plantada ($A_t$).

Estas condições são plenamente atendidas por todos modelos propostos no presente trabalho.

### 2.3.1 Dados

Além dos dados básicos são considerados como dados as outras informações relevantes para a estimação dos modelos e que devem ser estimadas a *priori*. Estas condições são: (1) a taxa de juros, (2) o fator de perdas físicas, (3) o custo de armazenamento, (4) o preço mínimo (quando for o caso), (5) o preço de importação (quando for o caso), (6) as condições de demanda do produto (função de demanda e choques de demanda) e (7) as condições de produção agrícola (no caso oferta de área e choques de produtividade).

O preço do arroz utilizado é o preço de arroz em casca ao produtor médio nacional divulgado pela Fundação Getúlio Vargas/Agroanalysis. As séries de preços mínimos de arroz foram obtidas junto ao Banco de dados do Departamento de Economia e Extensão rural da Universidade Federal do Paraná. A série do valor médio das importações foi obtida junto ao SECEX através do sistema Aliceweb dividindo-se o valor total das importações de arroz em casca pela quantidade total importada. Todos estes dados foram deflacionados através do IGP-DI.

#### 2.3.1.1 Função de oferta de área

A função oferta de área foi estimada por mínimos quadrados ordinários tendo como variável independente o custo de produção ($CP_t$) por unidade de área (hectare). Os cálculos foram feitos através do programa estatístico R. O período analisado foi compreendido pelas safras entre 1985/86 a 2003/04.

Os dados de área plantada foram obtidos junto a CONAB. O custo de produção de arroz médio nacional por hectare foi calculado com base em estudos elaborados pela Embrapa. Foram considerados 4 tipos de tecnologia de arroz de sequeiro baseados em estudos da EMBRAPA de 2000, 2001 e 2002 (MELO-FILHO e LEMES, 2000; MELO-FILHO e RICHETTI, 2001, 2002; GODINHO, UTUMI e OLIVEIRA, 2001) e 5 para arroz irrigado baseados em estudos da EMBRAPA de 2001 e 2005 (DOSSA[7], 2001; EMBRAPA, 2005), ponderando-se pela área plantada com cada tipo de tecnologia ao longo dos anos em análise. Os valores dos preços dos insumos foram obtidos junto ao Departamento de Economia Rural da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná - Seab/Deral (Paraná, 2005), admitindo-se que estes sejam representativos da produção nacional. Os preços médios anuais de cada insumo e operação foram calculados utilizando-se a média dos preços pagos pelos produtores nos meses de plantio. Todos os valores foram deflacionados para dezembro de 2004.

De posse destes valores calculou-se o histórico dos custos de produção de arroz no Brasil considerando, ao todo, nove tecnologias de produção ao longo de dezenove anos safra, totalizando 171 planilhas de custo de produção. A partir destes dados ponderaram-se os custos pela área plantada com cada tipo de tecnologia obtendo-se um valor de custo médio de produção de arroz por safra representativo para o Brasil.

Admite-se neste procedimento que o custo marginal é igual ao custo variável médio de produção, ou seja, não há economia de escala.

Embora os custos de produção de arroz sejam bastante heterogêneos ao longo do nosso território, este procedimento foi considerado como representativo para a evolução dos custos de produção de arroz no Brasil, uma vez que considera uma grande quantidade de tecnologias possíveis e tendo em vista a falta de estudos mais detalhados sobre estimações de funções de oferta de área plantada. O ajuste da equação foi considerado satisfatório. Os resultados desta regressão são apresentados a seguir:

$$A_t(CP_t, \varepsilon_t) = 1350{,}95546 + 1{,}29854\, CP_t + \varepsilon_t$$

em que $A_t$ é a área plantada no período t, $CP_t$ é o custo de produção médio no período t e $\varepsilon_t$ é o erro associado a função.

[7] Trabalho não publicado.

### 2.3.1.2 Choques de oferta

A análise de distribuição de freqüências da produtividade do arroz no país foi feita para o período das safras compreendidas entre 1985/86 até 2003/04. Considerou-se como representativo para o período uma produtividade média de 3,2 toneladas/hectare em um desvio padrão de 0,3320 toneladas/ha. Testando-se o tipo de distribuição (normal, triangular ou uniforme) encontrou-se que os dados melhor se ajustam à distribuição normal.

A partir da média e do desvio padrão, aproximou-se uma distribuição de probabilidade para 16 valores igualmente espaçados, com o maior e o menor valor considerados equivalentes ao intervalo de confiança de 99% da distribuição, o que equivale à utilização da Quadratura de Gauss (Miranda e Fackler, 2001).

### 2.3.1.3 Função de demanda inversa

A função de demanda inversa para consumo foi estimada por mínimos quadrados ordinários, através do programa estatístico R, tendo como variáveis dependentes o consumo ($Q_t$) e a renda ($R_t$). O período analisado foi de 19 anos compreendidos entre as safras de 1985/86 até 2003/04.

A renda utilizada como parâmetro para a estimação foi a renda média anual divulgada pelo IPEA e baseada na Pesquisa Anual por Amostra de Domicílios - PNAD do IBGE completando-se para os anos não disponíveis com a média entre o ano anterior e posterior. O parâmetro utilizado para o consumo anual foi a série de consumo aparente divulgada pela CONAB. A série de preço de arroz utilizada, como já foi ressaltado, é a série de preços mensais pagos ao produtor da Fundação Getúlio Vargas/Agroanalysis, tomando-se a média simples destes preços na época da colheita, ou seja, no período compreendido entre fevereiro a maio. Em seguida deflacionaram-se estes preços através do IGP-DI para dezembro de 2004.

Os resultados desta regressão são apresentados a seguir:

$$P_t(Q_t, R_t, z_t) = 6{,}82618 - 0{,}00054 Q_t + 0{,}00023 R_t + z_t$$

em que $P_t$ é o preço de demandado em t, $Q_t$ é a quantidade consumida em t, $R_t$ é a renda dos consumidores em t e $z_t$ é o erro associado.

#### 2.3.1.4 Choques de demanda

Para calcular os choques de demanda computaram-se os resíduos obtidos a partir da regressão da demanda para consumo, com distribuição normal, média zero e desvio padrão de 574,2301 mil toneladas. Note que os valores dos choques de demanda foram computados a partir dos resíduos da estimação da função de demanda ordinária e não da demanda inversa.

Com os valores citados em mãos construiu-se uma distribuição de probabilidade para 8 valores igualmente espaçados e com o maior e o menor valor considerados equivalentes ao intervalo de confiança de 99% da distribuição, o que equivale à utilização da Quadratura de Gauss (MIRANDA e FACKLER, 2001).

#### 2.3.1.5 Custo de armazenamento

O custo de armazenamento físico foi calculado com base nas tabelas de preços para produto a granel, divulgadas pela CONAB, obtendo-se um valor de R$ 25,00 /tonelada. Neste trabalho considerou-se este custo de armazenamento como representativo também para o armazenamento privado.

#### 2.3.1.6 Fator de desconto

Para calcular o fator de desconto é necessário definir uma taxa de juros e a perda proveniente física de produto proveniente da atividade de armazenamento. A taxa de juros considerada foi de 12% ao ano e a perda física (quebra de armazenamento) de 1,79% ao ano.

#### 2.3.1.7 Preço médio das importações brasileiras

O preço médio das importações brasileiras foi calculado com base nas informações do SECEX dividindo-se o valor total das importações de arroz em casca no período compreendido entre 1989 e 2004 pela quantidade total importada, convertendo-se os valores em dólar para real através da taxa de câmbio comercial anual para venda, real por dólar americano (US$/R$) fim do período e depois deflacionando-se os valores através do IGP-DI anual.

No período compreendido entre 1989 a 1995 foram utilizadas posições da NBM 1006.10.0100 (arroz com casca “paddy”, em grão, sem outro tratamento) a 1006.10.9900 (outros arroz com casca “paddy”) para arroz em casca e as posições da NBM 1006.30.0100 (arroz semibranqueado, mesmo polido/etc. parbolizado) a 1006.30.9900 (arroz semibranqueado, mesmo polido/ etc. não parbolizado) para arroz polido. Para o período compreendido entre 1996 a 2004 foram utilizadas as posições da NCM 1006.00.00 (arroz "paddy" com casca para semeadura) a 1006.19.99 (arroz "paddy" com casca, não parbolizado, não estufado) para arroz em casca e as posições da NCM 1006.30.11 (arroz semibranqueado, etc. parbolizado, polido ou brunido) a 1006.30.29 (outros tipos de arroz semibranqueado, etc. não parbolizado) para arroz polido. Para converter o preço do arroz polido em equivalente em casca, utilizou-se um fator de conversão de 2/3.

O valor considerado representativo do preço de importação com base nas informações do sistema aliceweb no período analisado foi o valor médio de R$ 0,5395/kg.

#### 2.3.1.8 Preço mínimo

O valor do preço mínimo foi definido com base na média do valor real do preço mínimo durante o período de 1985/86 a 2003/04, deflacionado-se através do IGP-DI para dezembro de 2004, para arroz longo e longo fino. Tomou-se como o valor do preço mínimo a média dos dois produtos ponderada pela produção de cada tipo O valor considerado representativo do preço de mínimo para o período analisado foi o valor médio de R 0,3924/kg.

### 2.3.2 A função do preço esperado

A função do preço esperado somente pode ser encontrada através de aproximações sucessivas, o que torna necessário o desenvolvimento de algoritmos. Existem inúmeros métodos para aproximação de funções não lineares. A forma básica para o desenvolvimento do algoritmo é apresentada em Gustafson (1958). Neste estudo adota-se o procedimento proposto por Wright e Willians (1991) e modificado por Guimarães (2001) que consiste em uma aproximação sucessiva do preço esperado em função de um polinômio de quarta ordem no estoque. Segundo Wright e Willians (1991), na última iteração o polinômio deve estar aproximado até a sexta casa decimal.

Tendo estimado a demanda de arroz para consumo, a oferta de área, os choques de demanda, a produtividade aleatória, o custo de armazenamento físico, a taxa de juros e o fator de perdas físicas de armazenamento foi possível estimar o modelo representativo do mercado de arroz no Brasil sem intervenção do governo e para uma economia fechada. Para o modelo de economia aberta sem intervenção fez-se necessário incorporar ao modelo um novo parâmetro para o preço de importação. Nos modelos de economia fechada com intervenção do governo foi necessário adicionar aos sete parâmetros do modelo sem intervenção um novo para o preço mínimo. Para o último modelo, de economia aberta com intervenção do governo foram utilizados os nove parâmetros citados.

Os algoritmos utilizados para o modelo de economia fechada sem intervenção, para o modelo de economia fechada com intervenção do governo via PEP, para o modelo de economia aberta sem intervenção governamental e para o modelo de economia aberta com intervenção governamental via PEP foram, basicamente, os mesmos descritos por Guimarães (2001) com algumas diferenças, principalmente com respeito ao fator de perdas de armazenamento. O algoritmo também está disponível em Wright e Willians (1991). Para o desenvolvimento dos algoritmos de economia fechada com intervenção do governo via AGF e de economia aberta com intervenção via AGF somou-se a Wright e Willians (1991) e Guimarães (2001) a proposta de Glauber e Miranda (1993).

Para os modelos de economia aberta desconsiderou-se a possibilidade de exportação, uma vez que esta, como já foi visto na seção 2.1, é pouco importante no mercado de arroz. As seqüências de cálculo dos algoritmos utilizados para os modelos são apresentadas a seguir.

#### 2.3.2.1 Derivação dos algoritmos numéricos utilizados para estimar a relação entre o estoque de equilíbrio, área plantada e disponibilidade corrente

O objetivo destes algoritmos numérico é encontrar, para qualquer disponibilidade ($I_t$), níveis de Estoque ($S_t$) e área plantada ($A_t$) que resultam das ações de maximização de lucro do processo de estocagem e dos produtores que possuem expectativas racionais sobre o preço no período *t+1*.

A relação de equilíbrio entre estoques e disponibilidade está implícita na condição de arbitragem:

$$\left(1/(1+r)\right)(E_{t+1}P_{t+2})(S_{t+1}) - P_{t+1}(I_{t+1} - S_{t+1}) - k - \vartheta\left(1/(1+r)\right)(E_{t+1}P_{t+2})(S_{t+1}) = 0 \qquad S_{t+1} > 0$$

Não é possível derivar a regra de armazenamento sem antes derivar numericamente a função $(E_{t+1}P_{t+2})(S_{t+1})$, relacionando o estoque corrente com o preço esperado no próximo ano e resolver a condição de arbitragem com o objetivo de obter o estoque para qualquer associado a qualquer disponibilidade. Os passos iniciais necessários para encontrar $(E_{t+1}P_{t+2})(S_{t+1})$ e comuns a todos os modelos considerados podem ser descritos como segue.

**Passo 1.** Determinar os parâmetros das funções de oferta de área e inversa da demanda para consumo;

**Passo 2.** Determinar o valor do custo (*k*) unitário de armazenamento;

**Passo 3.** Determinar o valor para a taxa de juros (*r*) considerada;

**Passo 4.** Determinar o valor das perdas físicas ( $\vartheta$ ) provenientes da atividade de armazenamento de um ano para o outro;

**Passo 5.** Construir uma distribuição baseada em pontos de uma distribuição de probabilidade contínua (no caso uma normal) de *j* (*j = 1,...,m*) valores para a produtividade $y^j$, com média $\mu$ e variância associados as suas respectivas probabilidades ( $\varpi_j$ ), segundo a Quadratura de Gauss (MIRANDA e FACKLER, 2001);

**Passo 6.** Construir uma distribuição baseada em pontos de uma distribuição de probabilidade contínua (no caso uma normal) de *k* valores para os choques de demanda $z^k$, com média zero e variância $\phi^2$ e associados as suas respectivas probabilidades ( $\upsilon_k$ ), de acordo com a Quadratura de Gauss (MIRANDA e FACKLER, 2001);

**Passo 7.** Escolher um polinômio $\psi^0$ como a primeira aproximação do preço esperado em função do estoque.

#### 2.3.2.2 Derivação do algoritmo para um mercado fechado e sem intervenção governamental

**Loop para o polinômio $\psi$**

**Passo 1.** Escolher *n* valores para o estoque inicial ( $(1-\vartheta)S_t^i$ ), igualmente espaçados, lembrando que o estoque inicial do período atual é igual ao estoque final do período anterior descontadas as perdas físicas;

**Passo 2.** Associar *n* valores para a área plantada ( $A_t^i$ ) a cada valor de estoque inicial ( $(1-\vartheta)S_t^i$ ));

**Loop para cada $S_t^i$**

**Passo 3.** Multiplicar $A_t^i$ por cada valor $y_{t+1}^j$ gerando valores para a produção $x_{t+1}^{ij}$;

**Passo 4.** Somar $x_{t+1}^{ij}$ a cada $(1-\vartheta)S_t^i$, obtendo valores de disponibilidade $S_{t+1}^{ij}$;

**Passo 5.** Para cada $S_{t+1}^{ij}$ somar o choque de demanda $z^{k}$, desta forma gerando valores de disponibilidade total $I_{t+1}^{ijk}$;

**Loop para encontrar cada equilíbrio $I_{t+1}^{ijk}$**

**Passo 6.** Para cada $I_{t+1}^{ijk}$ resolver numericamente a função implícita:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk}) = 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} > 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk}) \geq 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} = 0$$

A solução consiste em encontrar as raízes de interesse para os valores $S_{t+1}^{ijk}$ e $I_{t}^{ijk}$ que resolvem as equações acima. Esta raiz é obtida através de aproximações sucessivas. Este método é conhecido como método de Newton e pode ser definido para o problema como se segue:

$$(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} = (S_{t+1}^{ijk})_{n} - \frac{P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk})}{\frac{\partial P_{t+1}^{IJK}\left[I_{t+1}^{ijk} - (S_{t+1}^{ijk})_{n}\right]}{\partial(S_{t+1}^{ijk})_{n}} + \frac{\partial k}{\partial(S_{t+1}^{ijk})_{n}} - \frac{\partial[(1-\vartheta)/(1+r)]\psi\left[(S_{t+1}^{ijk})_{n}\right]}{\partial(S_{t+1}^{ijk})_{n}}}$$

em que $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1}$ é a aproximação final do valor de estoque final e $(S_{t+1}^{ijk})_{n}$ é a aproximação inicial do valor de estoque final.

Faz-se n substituições para o estoque final $(S_{t+1}^{ijk})$ e quando $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} - (S_{t+1}^{ijk})_{n} \leq \varepsilon$ tem-se uma aproximação satisfatória da raiz da equação, em que $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.[8]

**Passo 7.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Com base nestes preços é possível calcular agora o preço esperado para cada respectiva área inicial;

$$E_{t}\left(P_{t+1}^{i}(S_{t}^{i})\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K} P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right)(\varpi_{j})(\upsilon_{k})$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores:

$$E_{t}R_{t+1}^{i} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left(P_{t+1}^{i}(S_{t}^{i}) \times y_{t+1}^{j}\right)(\varpi_{j})(\upsilon_{k})$$

Verificar se a área inicial é consistente com a receita esperada**.**

[8] Neste trabalho adotou-se um valor máximo para $\varepsilon$ =0,000005.

Se $A_t(E_t R^i_{t+1}) - A^i_t > \varepsilon$ onde $\varepsilon$ é um número pequeno, deve-se refazer os passos 1 a 8. Quando $A_t(E_t R^i_{t+1}) - A^i_t \leq \varepsilon$**,** então $A^i_t$ é a área de equilíbrio.

**Passo 9.** Uma vez obtidas as áreas de equilíbrio ajusta-se um novo polinômio do quarto grau $\psi^1$ de $P_{t+1}$ em função de $S^i_t$. Substitui-se $\psi^0$ por $\psi^1$ e recalcula-se os passos 1 a 9. O processo deve ser repetido n vezes até que $\psi^n - \psi^{n-1} \leq \varepsilon$**,** onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno;

**Passo 10.** Uma vez obtido o polinômio de $P_{t+1}$ em função de $S^i_t$, ajusta-se um polinômio do quarto grau ($\phi$)do vetor $A^i_t$ em função do vetor $S^i_t$. Não sendo satisfatório o ajustamento do polinômio da área em função do estoque, diminui-se o espaçamento dos valores de estoque inicial até que $\phi^i - \phi^{i-1} \leq \varepsilon$. Feito isto então $\phi^i$ é o polinômio final.

#### 2.3.2.3 Derivação do algoritmo para um mercado fechado com intervenção governamental via PEP

**Loop para o polinômio $\psi$**

**Passo 1.** Escolher $n$ valores para o estoque inicial ($(1-\vartheta)S^i_t$), igualmente espaçados, lembrando que o estoque inicial do período atual é igual ao estoque final do período anterior descontadas as perdas físicas;

**Passo 2.** Associar $n$ valores para a área plantada ($A^i_t$) a cada valor de estoque inicial ($(1-\vartheta)S^i_t$));

**Loop para cada $S^i_t$**

**Passo 3.** Multiplicar $A^i_t$ por cada valor $y^j_{t+1}$ gerando valores para a produção $x^{ij}_{t+1}$;

**Passo 4.** Somar $x^{ij}_{t+1}$ a cada $(1-\vartheta)S^i_t$, obtendo valores de disponibilidade $S^{ij}_{t+1}$;

**Passo 5.** Para cada $S^{ij}_{t+1}$ somar o choque de demanda $z^k$, desta forma gerando valores de disponibilidade total $I^{ijk}_{t+1}$;

**Loop para encontrar cada equilíbrio $I^{ijk}_{t+1}$**

**Passo 6.** Para cada $I^{ijk}_{t+1}$ resolver numericamente a função implícita:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - \left[(1-\vartheta)/(1+r)\right]\psi(S_{t+1}^{ijk}) = 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} > 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - \left[(1-\vartheta)/(1+r)\right]\psi(S_{t+1}^{ijk}) \geq 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} = 0$$

A solução consiste em encontrar as raízes de interesse para os valores $S_{t+1}^{ijk}$ e $I_t^{ijk}$ que resolvem as equações acima. Esta raiz é obtida através de aproximações sucessivas. Este método é conhecido como método de Newton e pode ser definido para o problema como se segue:

$$(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} = (S_{t+1}^{ijk})_n - \frac{P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - \left[(1-\vartheta)/(1+r)\right]\psi(S_{t+1}^{ijk})}{\dfrac{\partial P_{t+1}^{IJK}\left[I_{t+1}^{ijk} - (S_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} + \dfrac{\partial k}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} - \dfrac{\partial\left[(1-\vartheta)/(1+r)\right]\psi\left[(S_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n}}$$

em que $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1}$ é a aproximação final do valor de estoque final e $(S_{t+1}^{ijk})_n$ é a aproximação inicial do valor de estoque final.

Faz-se n substituições para o estoque final $(S_{t+1}^{ijk})$ e quando $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} - (S_{t+1}^{ijk})_n \leq \varepsilon$ tem-se uma aproximação satisfatória da raiz da equação, onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 7.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Quando este preço for menor que o preço mínimo deve-se considerar o preço mínimo, caso contrário não haverá gasto do governo e nem subsídio ao produtor, ou seja:

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right) \geq P^{MIN}, \text{ em que } \Theta_{t+1}^{ijk} = 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right) < P^{MIN}, \text{ em que } \Theta_{t+1}^{ijk} > 0$$

Como a quantidade disponível e armazenada é conhecida, os gastos do governo seguem a formulação anterior. Mais explicitamente tem-se que o prêmio pago pelo governo ao produtor ($\rho$) e o subsídio total do governo aos produtores ($\Theta$) são representados por:

$$\rho_t^{ijk} = P^{MIN} - P_{t+1}^{ijk}, \text{ quando } P^{MIN} > P_{t+1}^{ijk}$$

$$\rho_t^{ijk} \geq 0, \text{ quando } P^{MIN} \leq P_{t+1}^{ijk}$$

$$\Theta_{t+1}^{ijk} = \rho_{t+1}^{ijk} \times x_{t+1}^{ijk}$$

As esperanças do prêmio e do gasto do governo seguem as seguintes formulações:

$$E\rho_t^{ijk} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l} \rho_{t+1}^{ijk}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

$$E\Theta_t^{ijk} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l} \Theta_{t+1}^{ijk}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 7.1.** Com base nestes preços é possível calcular agora o preço recebido pelo produtor esperado para cada área inicial considerada:

$$E_t\left(P_{t+1}^i(S_t^i)+\rho_{t+1}^i\right)=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk}-S_{t+1}^{ijk}\right)+\rho_{t+1}^{ijk}\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

A esperança de preço de mercado pode ser calculada através da formulação a seguir:

$$E_t\left(P_{t+1}^i(S_t^i)\right)=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk}-S_{t+1}^{ijk}\right)\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores:

$$E_tR_{t+1}^i=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left[\left(P_{t+1}^{ijk}(S_t^{ijk})\times y_{t+1}^j\right)+(\rho_{t+1}^{ijk}\times y_{t+1}^j)\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

Verificar se a área inicial é consistente com a receita esperada**.**

Se $A_t(E_tR_{t+1}^i)-A_t^i>\varepsilon$ onde $\varepsilon$ é um número pequeno, deve-se refazer os passos 1 a 8. Quando $A_t(E_tR_{t+1}^i)-A_t^i\leq\varepsilon$**,** então $A_t^i$ é a área de equilíbrio;

**Passo 9.** Uma vez obtidas as áreas de equilíbrio ajusta-se um novo polinômio do quarto grau $\psi^1$ de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i$. Substitui-se $\psi^0$ por $\psi^1$ e recalcula-se os passos 1 a 9. O processo deve ser repetido n vezes até que $\psi^n-\psi^{n-1}\leq\varepsilon$**,** onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno;

**Passo 10.** Uma vez obtido o polinômio de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i$, ajusta-se um polinômio do quarto grau ($\phi$)do vetor $A_t^i$ em função do vetor $S_t^i$. Não sendo satisfatório o ajustamento do polinômio da área em função do estoque, diminui-se o espaçamento dos valores de estoque inicial até que $\phi^i-\phi^{i-1}\leq\varepsilon$. Feito isto então $\phi^i$ é o polinômio final.

### 2.3.2.4 Derivação do algoritmo para um mercado fechado com intervenção governamental via AGF

**Loop para o polinômio $\psi$**

**Passo 1.** Escolher *n* valores para o estoque inicial ($((1-\vartheta)(S_t^i+G_t^j))$), igualmente espaçados, lembrando que o estoque inicial do período atual é igual ao estoque final do período anterior descontadas as perdas físicas;

**Passo 2.** Associar $n$ valores para a área plantada ($A_t^i$) a cada valor de estoque inicial ($(1-\vartheta)(S_t^i + G_t^j)$);

**Loop para cada** $S_t^i$

**Passo 3.** Multiplicar $A_t^i$ por cada valor $y_{t+1}^j$ gerando valores para a produção $x_{t+1}^{ij}$;

**Passo 4.** Somar $x_{t+1}^{ij}$ a cada $(1-\vartheta)(S_t^i + G_t^j)$, obtendo valores de disponibilidade $S_{t+1}^{ij}$;

**Passo 5.** Para cada $S_{t+1}^{ij}$ somar o choque de demanda $z^k$, desta forma gerando valores de disponibilidade total $I_{t+1}^{ijk}$;

**Loop para encontrar cada equilíbrio** $I_{t+1}^{ijk}$

**Passo 6.** Para cada $I_{t+1}^{ijk}$ resolver numericamente a função implícita;

Caso $P_{t+1}^{ijk} < P_t^M$ o governo retira produto do mercado através da formação de estoques públicos até que o preço de mercado seja igual ao preço mínimo:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) = P_t^M$$

De forma mais explicíta o estoque a ser formado pelo governo neste caso será:

$$G_t^{ijk} = \left(D_{t+1}(P_t^M) - I_t^{ijk}\right)$$

Neste caso não haverá estoque privado, uma vez que a atividade não é economicamente viável:

$$P_{t+1}^M + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk}) = 0 \quad G_{t+1}^{ijk} > 0 \quad S_{t+1}^{ijK} = 0$$

Caso $P_{t+1}^{ijk} > P_t^M$ não haverá formação de estoques do governo, neste caso a formação de estoque privado seguirá a seguinte relação:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk}) = 0 \quad G_{t+1}^{ijk} = 0 \quad S_{t+1}^{ijk} > 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk}) \geq 0 \quad G_{t+1}^{ijk} = 0 \quad S_{t+1}^{ijk} = 0$$

A solução consiste em encontrar as raízes de interesse para os valores $S_{t+1}^{ijk}$ e $I_t^{ijk}$ que resolvem as equações acima. Para os casos em que $P_{t+1}^{ijk} > P_t^M$, a raiz é obtida através de aproximações sucessivas. Este método é conhecido como método de Newton e pode ser definido para o problema como se segue:

$$(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} = (S_{t+1}^{ijk})_n - \frac{P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk})}{\frac{\partial P_{t+1}^{IJK}\left[I_{t+1}^{ijk} - (S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} + \frac{\partial k}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} - \frac{\partial [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi\left[(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n}}$$

em que $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1}$ é a aproximação final do valor de estoque privado final e $(S_{t+1}^{ijk})_n$ é a aproximação inicial do valor de estoque privado final.

Faz-se n substituições para o estoque privado final $(S_{t+1}^{ijk})$ e quando $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} - (S_{t+1}^{ijk})_n \leq \varepsilon$ tem-se uma aproximação satisfatória da raiz da equação, onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 7.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Como a quantidade disponível e armazenada pelo governo é conhecida, pode-se calcular o desembolso esperado do governo ( $\Lambda_t^{ijk}$ ) para comprar o produto.

$$E\Lambda_t^{ijk} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l}\left(P_{t+1}^{M} \times G_{t+1}^{ijk}\right)(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 7.1.** Com base nestes preços é possível calcular agora o preço de mercado (igual ao recebido pelo produtor) esperado para cada respectiva área inicial. O preço de mercado deve ser igual ou inferior ao preço internacional.

$$E_t\left(P_{t+1}^{i}(S_t^{i} + G_t^{i})\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K} P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}\right)(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 7.3.** De posse do preço esperado pode-se calcular a receita (prejuízo) esperada pelo governo por unidade de produto ( $\gamma$ ) e total ( $\Xi$ ):

$$E_t\gamma_{t+1} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left\{[(1-\vartheta)/(1+r)]E_tP_{t+1} - P_t^{ijk} - k\right\}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

$$E_t\Xi_{t+1} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left\{\left[[(1-\vartheta)/(1+r)]E_tP_{t+1} - P_t^{ijk} - k\right] \times G_{t+1}^{ijk}\right\}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores:

$$E_tR_{t+1}^{i} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}\right) \times y_{t+1}^{j}\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

Verificar se a área inicial é consistente com a receita esperada**.**

Se $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i > \varepsilon$ onde $\varepsilon$ é um número pequeno, deve-se refazer os passos 1 a 8. Quando $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i \leq \varepsilon$**,** então $A_t^i$ é a área de equilíbrio.

**Passo 9.** Uma vez obtidas as áreas de equilíbrio ajusta-se um novo polinômio do quarto grau $\psi^1$ de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i + G_t^j$. Substitui-se $\psi^0$ por $\psi^1$ e recalcula-se os passos 1 a 9. O processo deve ser repetido n vezes até que $\psi^n - \psi^{n-1} \leq \varepsilon$**,** onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno;

**Passo 10.** Uma vez obtido o polinômio de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i + G_t^j$, ajusta-se um polinômio do quarto grau ($\phi$) do vetor $A_t^i$ em função do vetor $S_t^i + G_t^j$. Não sendo satisfatório o ajustamento do polinômio da área em função do estoque, diminui-se o espaçamento dos valores de estoque inicial até que $\phi^i - \phi^{i-1} \leq \varepsilon$. Feito isto então $\phi^i$ é o polinômio final.

#### 2.3.2.5 Derivação do algoritmo para um mercado aberto sem intervenção governamental

**Loop para o polinômio $\psi$**

**Passo 1.** Escolher $n$ valores para o estoque inicial ($(1-\vartheta)S_t^i$), igualmente espaçados, lembrando que o estoque inicial do período atual é igual ao estoque final do período anterior descontadas as perdas físicas;

**Passo 2.** Associar $n$ valores para a área plantada ($A_t^i$) a cada valor de estoque inicial ($(1-\vartheta)S_t^i$));

**Loop para cada $S_t^i$**

**Passo 3.** Multiplicar $A_t^i$ por cada valor $y_{t+1}^j$ gerando valores para a produção $x_{t+1}^{ij}$;

**Passo 4.** Somar $x_{t+1}^{ij}$ a cada $(1-\vartheta)S_t^i$, obtendo valores de disponibilidade $S_{t+1}^{ij}$;

**Passo 5.** Para cada $S_{t+1}^{ij}$ somar o choque de demanda $z^k$, desta forma gerando valores de disponibilidade total $I_{t+1}^{ijk}$;

**Loop para encontrar cada equilíbrio $I_{t+1}^{ijk}$**

**Passo 6.** Para cada $I_{t+1}^{ijk}$ resolver numericamente a função implícita:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk}) = 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} > 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk}) \geq 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} = 0$$

A solução consiste em encontrar as raízes de interesse para os valores $S_{t+1}^{ijk}$ e $I_t^{ijk}$ que resolvem as equações acima. Esta raiz é obtida através de aproximações sucessivas. Este método é conhecido como método de Newton e pode ser definido para o problema como se segue:

$$(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} = (S_{t+1}^{ijk})_n - \frac{P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk})}{\frac{\partial P_{t+1}^{IJK}\left[I_{t+1}^{ijk} - (S_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} + \frac{\partial k}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} - \frac{\partial [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi\left[(S_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n}}$$

em que: $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1}$ é a aproximação final do valor de estoque final e $(S_{t+1}^{ijk})_n$ é a aproximação inicial do valor de estoque final.

Faz-se n substituições para o estoque final $(S_{t+1}^{ijk})$ e quando $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} - (S_{t+1}^{ijk})_n \leq \varepsilon$ tem-se uma aproximação satisfatória da raiz da equação, onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 7.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Quando o preço de equilíbrio no mercado interno for superior ao preço de mercado internacional, ocorrerá importação até que o preço interno atinja o mesmo nível do preço internacional, caso contrário não ocorrerá importação, ou seja:

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right) < P^{IMP}, \text{ quando } M_{t+1}^{ijk} = 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} + M_{t+1}^{ijk}\right) = P^{IMP}, \text{ quando } M_{t+1}^{ijk} > 0$$

Como a quantidade disponível e armazenada é conhecida, a quantidade a ser importada segue as condições descritas acima. Mais explicitamente tem-se que a quantidade importada será:

$$M_t^{ijk} = \left(D_{t+1}(P^{IMP}) - I_t^{ijk}\right)$$

em que $M_t^{ijk} > 0$, caso contrário não ocorrerá importação e portanto $M_t^{ijk} = 0$. No primeiro caso não existirá formação de estoques.

**Passo 7.1.** Com base nestes preços é possível calcular agora o preço esperado para cada respectiva área inicial:

$$E_t\left(P_{t+1}^i(S_t^i)\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K} Min\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right), P^{IMP}\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores:

$$E_t R_{t+1}^i = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left\{Min\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right), P^{IMP}\right]\times y_{t+1}^j\right\}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

Verificar se a área inicial é consistente com a receita esperada**.**

Se $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i > \varepsilon$ onde $\varepsilon$ é um número pequeno, deve-se refazer os passos 1 a 8. Quando $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i \le \varepsilon$**,** então $A_t^i$ é a área de equilíbrio.

**Passo 9.** Uma vez obtidas as áreas de equilíbrio ajusta-se um novo polinômio do quarto grau $\psi^1$ de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i$. Substitui-se $\psi^0$ por $\psi^1$ e recalcula-se os passos 1 a 9. O processo deve ser repetido n vezes até que $\psi^n - \psi^{n-1} \le \varepsilon$**,** onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 10.** Uma vez obtido o polinômio de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i$, ajusta-se um polinômio do quarto grau ($\phi$)do vetor $A_t^i$ em função do vetor $S_t^i$. Não sendo satisfatório o ajustamento do polinômio da área em função do estoque, diminui-se o espaçamento dos valores de estoque inicial até que $\phi^i - \phi^{i-1} \le \varepsilon$. Feito isto então $\phi^i$ é o polinômio final.

#### 2.3.2.6 Derivação do algoritmo para um mercado aberto com intervenção governamental via PEP

**Loop para o polinômio $\psi$**

**Passo 1.** Escolher *n* valores para o estoque inicial ($(1-\vartheta)S_t^i$), igualmente espaçados, lembrando que o estoque inicial do período atual é igual ao estoque final do período anterior descontadas as perdas físicas;

**Passo 2.** Associar *n* valores para a área plantada ($A_t^i$) a cada valor de estoque inicial ($(1-\vartheta)S_t^i$));

**Loop para cada $S_t^i$**

**Passo 3.** Multiplicar $A_t^i$ por cada valor $y_{t+1}^j$ gerando valores para a produção $x_{t+1}^{ij}$;

**Passo 4.** Somar $x_{t+1}^{ij}$ a cada $(1-\vartheta)S_t^i$, obtendo valores de disponibilidade $S_{t+1}^{ij}$;

**Passo 5.** Para cada $S_{t+1}^{ij}$ somar o choque de demanda $z^k$, desta forma gerando valores de disponibilidade total $I_{t+1}^{ijk}$;

**Loop para encontrar cada equilíbrio $I_{t+1}^{ijk}$**

**Passo 6.** Para cada $I_{t+1}^{ijk}$ resolver numericamente a função implícita:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk}) = 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} > 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk}) \geq 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} = 0$$

A solução consiste em encontrar as raízes de interesse para os valores $S_{t+1}^{ijk}$ e $I_t^{ijk}$ que resolvem as equações acima. Esta raiz é obtida através de aproximações sucessivas. Este método é conhecido como método de Newton e pode ser definido para o problema como se segue:

$$(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} = (S_{t+1}^{ijk})_n - \frac{P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk})}{\dfrac{\partial P_{t+1}^{IJK}\left[I_{t+1}^{ijk} - (S_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} + \dfrac{\partial k}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n} - \dfrac{\partial [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi\left[(S_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial (S_{t+1}^{ijk})_n}}$$

em que $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1}$ é a aproximação final do valor de estoque final e $(S_{t+1}^{ijk})_n$ é a aproximação inicial do valor de estoque final.

Faz-se n substituições para o estoque final $(S_{t+1}^{ijk})$ e quando $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} - (S_{t+1}^{ijk})_n \leq \varepsilon$ tem-se uma aproximação satisfatória da raiz da equação, onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 7.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Quando o preço esperado for menor que o preço mínimo o preço considerado deve ser o preço mínimo, caso contrário não haverá gasto do governo e nem subsídio ao produtor, ou seja:

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right) \geq P^{MIN}, \text{ em que } \Theta_{t+1}^{ijk} = 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right) < P^{MIN}, \text{ em que } \Theta_{t+1}^{ijk} > 0$$

Como a quantidade disponível e armazenada é conhecida, os gastos do governo seguem a formulação anterior. Mais explicitamente tem-se que o prêmio pago pelo governo ao produtor ($\rho$) e o subsídio total do governo aos produtores ($\Theta$) são dados por:

$$\rho_t^{ijk} = P^{MIN} - P_{t+1}^{ijk}, \text{ quando } P^{MIN} > P_{t+1}^{ijk}$$

$$\rho_t^{ijk} \geq 0, \text{ quando } P^{MIN} \leq P_{t+1}^{ijk}$$

$$\Theta_{t+1}^{ijk} = \rho_{t+1}^{ijk} \times x_{t+1}^{ijk}$$

As esperanças do prêmio e do gasto do governo seguem as seguintes formulações:

$$E\rho_t^{ijk} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l}\rho_{t+1}^{ijk}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

$$E\Theta_t^{ijk} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l}\Theta_{t+1}^{ijk}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 7.1.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Quando o preço de equilíbrio no mercado interno for superior ao preço de mercado internacional, ocorrerá importação até que o preço interno atinja o mesmo nível do preço internacional, caso contrário não ocorrerá importação, ou seja:

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right) < P^{IMP}, \text{ quando } M_{t+1}^{ijk} = 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} + M_{t+1}^{ijk}\right) = P^{IMP}, \text{ quando } M_{t+1}^{ijk} > 0$$

Como a quantidade disponível e armazenada é conhecida, a quantidade a ser importada segue as condições descritas acima. Mais explicitamente tem-se que a quantidade importada será:

$$M_t^{ijk} = \left(D_{t+1}(P^{IMP}) - I_t^{ijk}\right)$$

em que $M_t^{ijk} > 0$, caso contrário não ocorrerá importação e portanto $M_t^{ijk} = 0$. No primeiro caso não existirá formação de estoques.

**Passo 7.2.** Com base nestes preços é possível calcular agora o preço recebido pelo produtor esperado para cada respectiva área inicial. O preço de mercado deve ser igual ou inferior ao preço internacional.

$$E_t\left(P_{t+1}^i(S_t^i) + \rho_{t+1}^i\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left\{Min\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right), P^{IMP}\right] + \rho_{t+1}^{ijk}\right\}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

A esperança de preço de mercado interno com importação pode ser calculada através da formulação a seguir:

$$E_t\left(P_{t+1}^i(S_t^i)\right) = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}Min\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk}\right), P^{IMP}\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores:

$$E_t R_{t+1}^i = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\left[\left(P_{t+1}^{ijk}(S_t^{ijk}) \times y_{t+1}^j\right) + (\rho_{t+1}^{ijk} \times y_{t+1}^j)\right](\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores:

$$E_t R_{t+1}^i = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{K} \left\{ Min\left[ P_{t+1}^{ijk} \left( I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} \right), P^{IMP} \right] \times y_{t+1}^j + \left( \rho_{t+1}^{ijk} \times y_{t+1}^j \right) \right\} (\varpi_j)(\upsilon_k)$$

Verificar se a área inicial é consistente com a receita esperada**.**

Se $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i > \varepsilon$ onde $\varepsilon$ é um número pequeno, deve-se refazer os passos 1 a 8. Quando $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i \le \varepsilon$**,** então $A_t^i$ é a área de equilíbrio.

**Passo 9.** Uma vez obtidas as áreas de equilíbrio ajusta-se um novo polinômio do quarto grau $\psi^1$ de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i$. Substitui-se $\psi^0$ por $\psi^1$ e recalcula-se os passos 1 a 9. O processo deve ser repetido n vezes até que $\psi^n - \psi^{n-1} \le \varepsilon$**,** onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 10.** Uma vez obtido o polinômio de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i$, ajusta-se um polinômio do quarto grau ($\phi$) do vetor $A_t^i$ em função do vetor $S_t^i$. Não sendo satisfatório o ajustamento do polinômio da área em função do estoque, diminui-se o espaçamento dos valores de estoque inicial até que $\phi^i - \phi^{i-1} \le \varepsilon$. Feito isto então $\phi^i$ é o polinômio final.

#### 2.3.2.7 Derivação do algoritmo para um mercado aberto com intervenção governamental via AGF

**Loop para o polinômio $\psi$**

**Passo 1.** Escolher $n$ valores para o estoque inicial ($(1-\vartheta)(S_t^i + G_t^j)$), igualmente espaçados, lembrando que o estoque inicial do período atual é igual ao estoque final do período anterior descontadas as perdas físicas;

**Passo 2.** Associar $n$ valores para a área plantada ($A_t^i$) a cada valor de estoque inicial ($(1-\vartheta)(S_t^i + G_t^j)$);

**Loop para cada $S_t^i$**

**Passo 3.** Multiplicar $A_t^i$ por cada valor $y_{t+1}^j$ gerando valores para a produção $x_{t+1}^{ij}$;

**Passo 4.** Somar $x_{t+1}^{ij}$ a cada $(1-\vartheta)(S_t^i + G_t^j)$, obtendo valores de disponibilidade $S_{t+1}^{ij}$;

**Passo 5.** Para cada $S_{t+1}^{ij}$ somar o choque de demanda $z^k$, desta forma gerando valores de disponibilidade total $I_{t+1}^{ijk}$;

**Loop para encontrar cada equilíbrio** $I_{t+1}^{ijk}$

**Passo 6.** Para cada $I_{t+1}^{ijk}$ resolver numericamente a função implícita;

Caso $P_{t+1}^{ijk} < P_t^M$ o governo retira produto do mercado através da formação de estoques públicos até que o preço de mercado seja igual ao preço mínimo:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) = P_t^M$$

De forma mais explicíta o estoque a ser formado pelo governo neste caso será:

$$G_t^{ijk} = \left(D_{t+1}(P_t^M) - I_t^{ijk}\right)$$

Neste caso não haverá estoque privado, uma vez que a atividade não é economicamente viável:

$$P_{t+1}^M + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk}) = 0 \qquad G_{t+1}^{ijk} > 0 \qquad S_{t+1}^{ijK} = 0$$

Caso $P_{t+1}^{ijk} > P_t^M$ não haverá formação de estoques do governo, neste caso a formação de estqoue privado seguirá a seguinte relação:

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk}) = 0 \qquad G_{t+1}^{ijk} = 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} > 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk}) \geq 0 \qquad G_{t+1}^{ijk} = 0 \qquad S_{t+1}^{ijk} = 0$$

A solução consiste em encontrar as raízes de interesse para os valores $S_{t+1}^{ijk}$ e $I_t^{ijk}$ que resolvem as equações acima. Para os casos em que $P_{t+1}^{ijk} > P_t^M$, a raiz é obtida através de aproximações sucessivas. Este método é conhecido como método de Newton e pode ser definido para o problema como se segue:

$$(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} = (S_{t+1}^{ijk})_n - \frac{P_{t+1}^{ijk}(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}) + k - [(1-\vartheta)/(1+r)]\psi(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk})}{\frac{\partial P_{t+1}^{IJK}\left[I_{t+1}^{ijk} - (S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial(S_{t+1}^{ijk})_n} + \frac{\partial k}{\partial(S_{t+1}^{ijk})_n} - \frac{\partial[(1-\vartheta)/(1+r)]\psi\left[(S_{t+1}^{ijk} + G_{t+1}^{ijk})_n\right]}{\partial(S_{t+1}^{ijk})_n}}$$

em que $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1}$ é a aproximação final do valor de estoque privado final e $(S_{t+1}^{ijk})_n$ é a aproximação inicial do valor de estoque privado final.

Faz-se n substituições para o estoque privado final $(S_{t+1}^{ijk})$ e quando $(S_{t+1}^{ijk})_{n+1} - (S_{t+1}^{ijk})_{n} \leq \varepsilon$ tem-se uma aproximação satisfatória da raiz da equação, onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 7.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Como a quantidade disponível e armazenada pelo governo é conhecida, pode-se calcular o desembolso esperado do governo ( $\Lambda_t^{ijk}$ ) para comprar o produto;

$$E\Lambda_t^{ijk} = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{l} \left(P_{t+1}^{M} \times G_{t+1}^{ijk}\right)(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 7.1.** O estoque de equilíbrio obtido determina, simultaneamente todas as variáveis endógenas inclusive o preço para cada situação. Quando o preço de equilíbrio no mercado interno for superior ao preço de mercado internacional, ocorrerá importação até que o preço interno atinja o mesmo nível do preço internacional, caso contrário não ocorrerá importação, ou seja

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}\right) < P^{IMP}\text{, quando } M_{t+1}^{ijk} = 0$$

$$P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} + M_{t+1}^{ijk}\right) = P^{IMP}\text{, quando } M_{t+1}^{ijk} > 0$$

Como a quantidade disponível e armazenada é conhecida, a quantidade a ser importada segue as condições descritas acima. Mais explicitamente tem-se que a quantidade importada será

$$M_t^{ijk} = \left(D_{t+1}(P^{IMP}) - I_t^{ijk}\right)$$

em que $M_t^{ijk} > 0$, caso contrário não ocorrerá importação e portanto $M_t^{ijk} = 0$. No primeiro caso não existirá formação de estoques.

**Passo 7.2.** Com base nestes preços é possível calcular agora o preço de mercado (igual ao recebido pelo produtor) esperado para cada respectiva área inicial. O preço de mercado deve ser igual ou inferior ao preço internacional;

$$E_t\left(P_{t+1}^{i}(S_t^{i} + G_t^{i})\right) = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{K} \left\{Min\left[P_{t+1}^{ijk}\left(I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk}\right), P^{IMP}\right]\right\}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 7.3.** De posse da do preço esperado pode-se calcular a receita (prejuízo) esperada pelo governo por unidade de produto ( $\gamma$ ) e total ( $\Xi$ )

$$E_t\gamma_{t+1} = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{K} \left\{\left[(1-\vartheta)/(1+r)\right]E_t P_{t+1} - P_t^{ijk} - k\right\}(\varpi_j)(\upsilon_k)$$

$$E_t \Xi_{t+1} = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{K} \left\{ \left[ (1-\vartheta)/(1+r) \right] E_t P_{t+1} - P_t^{ijk} - k \right] \times G_{t+1}^{ijk} \right\} (\varpi_j)(\upsilon_k)$$

**Passo 8.** Calcular a receita por hectare esperada pelos produtores

$$E_t R_{t+1}^i = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{K} \left\{ Min \left[ P_{t+1}^{ijk} \left( I_{t+1}^{ijk} - S_{t+1}^{ijk} - G_{t+1}^{ijk} \right), P^{IMP} \right] \times y_{t+1}^{j} \right\} (\varpi_j)(\upsilon_k)$$

Verificar se a área inicial é consistente com a receita esperada**.**

Se $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i > \varepsilon$ onde $\varepsilon$ é um número pequeno, deve-se refazer os passos 1 a 8. Quando $A_t(E_t R_{t+1}^i) - A_t^i \leq \varepsilon$**,** então $A_t^i$ é a área de equilíbrio.

**Passo 9.** Uma vez obtidas as áreas de equilíbrio ajusta-se um novo polinômio do quarto grau $\psi^1$ de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i + G_t^j$. Substitui-se $\psi^0$ por $\psi^1$ e recalcula-se os passos 1 a 9. O processo deve ser repetido n vezes até que $\psi^n - \psi^{n-1} \leq \varepsilon$**,** onde $\varepsilon$ é um número suficientemente pequeno.

**Passo 10.** Uma vez obtido o polinômio de $P_{t+1}$ em função de $S_t^i + G_t^j$, ajusta-se um polinômio do quarto grau ($\phi$) do vetor $A_t^i$ em função do vetor $S_t^i + G_t^j$. Não sendo satisfatório o ajustamento do polinômio da área em função do estoque, diminui-se o espaçamento dos valores de estoque inicial até que $\phi^i - \phi^{i-1} \leq \varepsilon$. Feito isto então $\phi^i$ é o polinômio final.

### 2.3.3 Simulações de longo prazo

De posse dos resultados dos modelos estruturais faz-se necessário simular o comportamento das variáveis endógenas ao longo do tempo, que deve ser encontrado através das médias de longo prazo. Estas médias de longo prazo são obtidas através de simulações de Monte Carlo (WRIGHT e WILLIANS, 1991 e GUIMARÃES, 2001). Os valores das variáveis aleatórias (produtividade e choques de demanda) foram simulados através da função *rnorm* do programa estatístico R, utilizando-se 2.500 valores com distribuição normal e com as médias e os desvios padrões citados anteriormente. Estes valores de simulação foram utilizados para calcular as variáveis endógenas, a partir do modelo estrutural, e obter as médias de longo prazo das variáveis endógenas.

As médias de longo prazo foram obtidas através de simulações para um período de 10 safras de acordo com o proposto por Wright e Willians (1991) e Guimarães (2001), onde a disponibilidade inicial (no ano zero) e a simulação das variáveis aleatórias são a mesma para todos os modelos. As médias de longo prazo são as médias das 2.500 simulações.

De acordo com Guimarães (2001) e Wright e Willians (1991) a disponibilidade no ano inicial deve estar acima ou abaixo da média esperada. Este excesso ou falta de produto no mercado será absorvido podendo-se avaliar de que forma o sistema responde a estas safras fora da média. No final do período, as médias das 10 safras simuladas 2.500 vezes convergem para as médias de longo-prazo.

## 2.4 Resultados e discussão

Todos os valores dos parâmetros utilizados para a estimação dos modelos propostos são apresentados na Tabela 4 a seguir. Este é o resumo da seção 2.3.1 apresentada anteriormente.

Tabela 4 - Parâmetros do modelo

| **Parâmetros** | **Valor** |
|---|---|
| Termo constante da função de demanda inversa para consumo | 6,716702 |
| Coeficiente angular da renda | 0,000233 |
| Coeficiente angular do preço | -0,000540 |
| Renda mensal media (R$) | 470,00 |
| Termo constante da função de oferta de área | 1350,955457 |
| Coeficiente angular da função de oferta de área | 1,298541 |
| Produtividade média (ton/ha) | 3,200640 |
| Desvio padrão da produtividade (ton/ha) | 0,332020 |
| Desvio padrão dos choques de demanda (1000 ton) | 574,230098 |
| Perda física anual devido ao armazenamento | 1,79% |
| Taxa de juros (a.a.) | 12% |
| Preço mínimo (R$/Kg) | 0,392411 |
| Preço de importação (R$/Kg) | 0,539544 |
| Custo de armazenamento (R$/Kg) | 0,044372 |

Uma vez definidos os parâmetros dos modelos torna-se possível estimar o modelo básico de economia fechada sem intervenção do governo. O procedimento é o mesmo descrito por Wright e Willians (1991), incluindo-se a oferta de área, a exemplo de Guimarães (2001). A diferença encontra-se na utilização de um fator de perda física. Este fator dá origem a um custo de armazenamento variável ao longo dos anos, uma vez que o valor da perda depende do preço do produto no ano seguinte. Em primeira análise, o valor monetário das perdas, é definido em função do preço esperado para a próxima safra. Por tratar-se de um valor esperado, ele pode ser maior ou menor ao final do período.

A estimação do algoritmo para a função do preço esperado e oferta de área inicia-se com a definição de um vetor de n valores, igualmente espaçados, para o estoque final da safra t-1. Foram definidos 23 valores de estoque, espaçados por 250 mil toneladas, entre zero e 5,5 milhões de toneladas. A definição deste conjunto de valores foi baseada nas quantidades de estoque dentro da ocorrência usual de estoques de arroz no Brasil. Os maiores estoques anuais de arroz registrados no Brasil nunca superaram 5 milhões de toneladas e as simulações do modelo demonstraram que este intervalo é adequado.

A multiplicação da área plantada no momento t e os 16 valores possíveis de produtividade em t deu origem a 16 valores de produção total em t para cada estoque final em t-1. A disponibilidade inicial em t do modelo é gerada a partir da soma entre os estoques iniciais em t (estoque final da safra anterior (t-1) descontando-se as perdas físicas) e a produção nacional em t, gerando 368 valores.

Nesta estimação foram utilizados 8 valores para os choques de demanda em t, que são aleatórios, ocorrendo para qualquer estoque inicial em t ou produtividade em t. As disponibilidades totais em t são geradas a partir da soma entre as disponibilidades iniciais em t e os choques de demanda em t, gerando 2.944 valores.

### 2.4.1 A regra ótima de formação de estoques de armazenamento segundo a política e as funções de preço esperado e área plantada

Cada modelo proposto deu origem a funções de preço esperado e área plantada. Uma vez estimadas estas funções cada modelo gerou uma política de estoques ótima distinta. Estes resultados serão apresentados nesta seção.

#### 2.4.1.1 Economia fechada sem intervenção governamental

A formação de estoque ocorre a partir de uma disponibilidade de 11.692,26 mil toneladas, que, ainda, corresponde a um estoque final igual a zero. Para qualquer disponibilidade menor não haverá formação de estoques para este modelo de economia fechada sem intervenção ou modelo básico. Para as disponibilidades maiores o estoque a ser formado é uma função do preço esperado, dos custos de armazenamento, da taxa de desconto, do fator de perdas e das funções de oferta de área e demanda presentes. O cálculo dos 2.944 valores gerou o gráfico apresentado na Figura 5 para cada disponibilidade inicial de arroz, sujeito á todos os pressupostos e parâmetros impostos ao modelo.

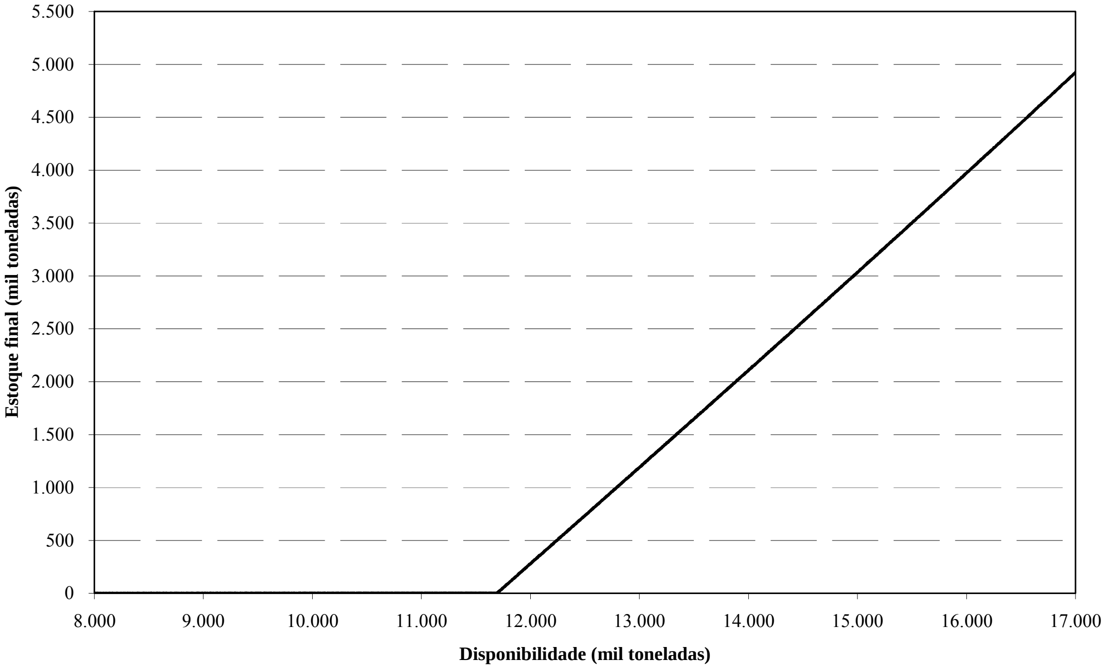



Figura 4 – Regra de armazenamento ótimo para infinitos períodos – disponibilidade inicial e estoque final da safra anterior de arroz, economia fechada sem intervenção do governo

A função do preço esperado foi ajustada por um polinômio de quarto grau no estoque final do período anterior. Esta função é apresentada na figura 5. O polinômio de quarto grau utilizado para descrever o preço esperado em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o fator de ajuste são descritos a seguir:

$$E(P_{t+1}) = -7{,}243012*10^{-17}*S_t^4 + 9{,}823685*10^{-13}*S_t^3 - 4{,}320992*10^{-10}*S_t^2 - 6{,}121018*10^{-5}*S_t + \\ + 6{,}287586*10^{-1}$$

$R^2 = 0{,}999995$

Os valores calculados foram ajustados através de um polinômio do quarto grau. A relação da área plantada com o estoque final do período anterior é apresentada na figura 6. O polinômio de quarto grau utilizado para descrever a área plantada em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o coeficiente de ajuste ($R^2$) são descritos a seguir:

$$A_{t+1} = -2,576575*10^{-13}*S_t^4 + 3,280921*10^{-9}*S_t^3 + 1,090794*10^{-7}*S_t^2 - 2,299913*10^{-1}*S_t + + 3,849043*10^3$$

$$R^2 = 0,999996$$

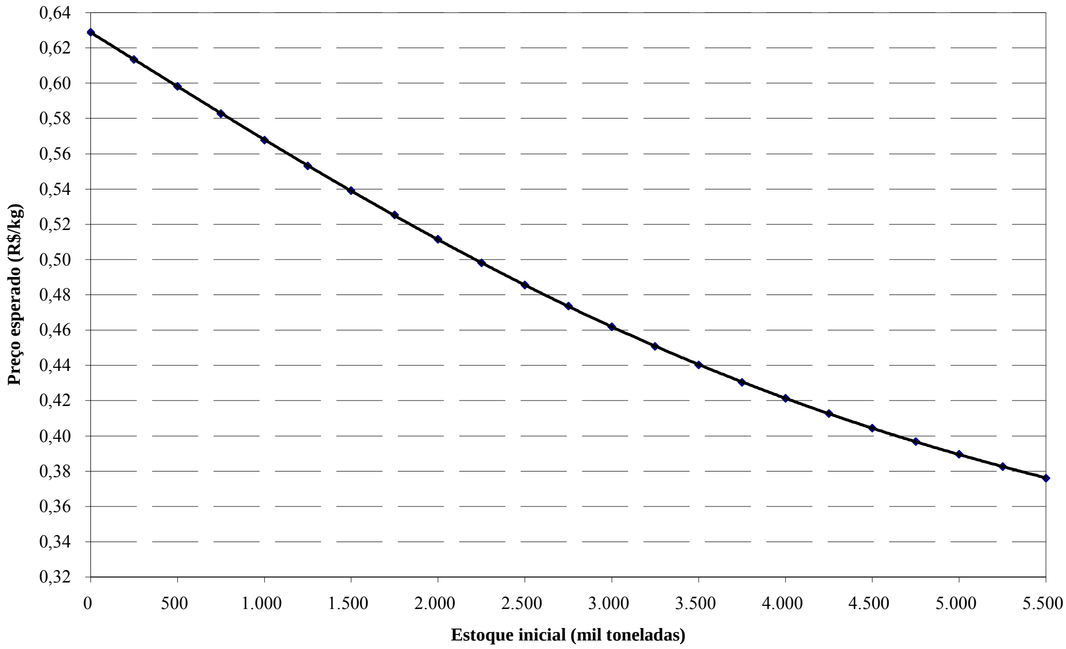



Figura 5 – Preço esperado em função do estoque final da safra anterior, economia fechada sem intervenção do governo

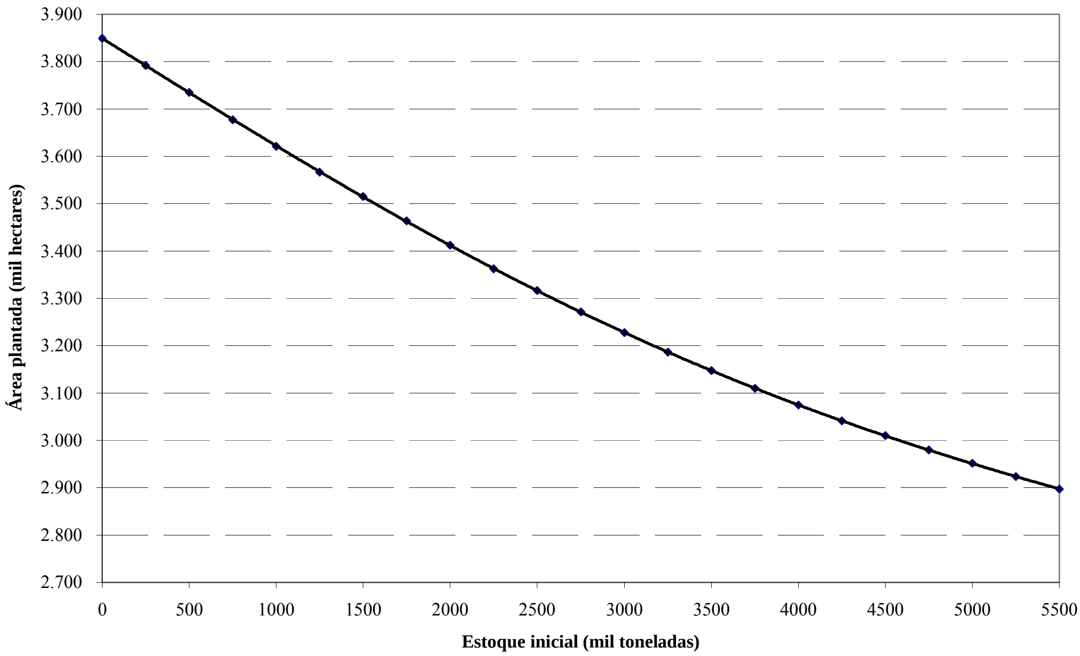



Figura 6 – Área plantada em função do estoque final da safra anterior, economia fechada sem intervenção do governo

### 2.4.1.2 Economia aberta sem intervenção governamental

Neste caso, a formação de estoque para o caso de economia aberta sem intervenção do governo inicia-se a partir de uma disponibilidade de 11902,47 mil toneladas. Para qualquer disponibilidade menor que a especificada não ocorrerá formação de estoques, ou seja, haverá estoque igual a zero. Para todas as disponibilidades maiores que 11902,47 mil toneladas o estoque a ser formado é uma função do preço esperado, dos custos de armazenamento, da taxa de desconto, do fator de perdas e das funções de oferta e demanda presentes. O cálculo das 2.944 situações consideradas resultou no gráfico apresentado na figura 7, ajustado para cada disponibilidade inicial de arroz possível e sujeito á todos os pressupostos e parâmetros impostos ao modelo. Esta "regra" de armazenamento ótimo, quando comparada com a do modelo básico, demonstra uma menor propensão à formação de estoques no mercado devido a uma maior oferta global de produto.

A função do preço esperado foi ajustada, da mesma forma que os demais modelos, através de um polinômio do quarto grau no estoque final do período anterior. Esta função calculada para as 2.944 situações simuladas é apresentada na figura 8. Pode-se perceber claramente, através da figura 8 e da equação abaixo, a queda nos níveis de preços internos advindas da introdução da possibilidade de importação no modelo aberto em comparação com o básico. Este polinômio utilizado para descrever o preço esperado para o modelo aberto sem intervenção em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o fator de ajuste da função são apresentados a seguir:

$$E(P_{t+1}) = -2{,}148400*10^{-17}*S_t^4 + {,}1423455*10^{-13}*S_t^3 - 4{,}269726*10^{-9}*S_t^2 - 2{,}384457*10^{-5}*S_t + \\ + 4{,}991994*10^{-1}$$

$$R^2 = 0{,}999981$$

Os valores calculados para a área plantada e o estoque final da safra anterior foram relacionados através de um polinômio do quarto grau. A relação da área plantada com o estoque final do período anterior é apresentada na Figura 9. Com a queda dos níveis internos de preço esperado existe uma evidente diminuição na área plantada com arroz que pode ser avaliada observando-se a Figura 9. O polinômio de quarto grau utilizado para descrever a área plantada, para o modelo de mercado aberto sem intervenção, em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o coeficiente de ajuste ($R^2$) são descritos a seguir:

$$A_{t+1} = -1{,}462189*10^{-13}*S_t^4 + 3{,}302129*10^{-9}*S_t^3 - 1{,}621130*10^{-5}*S_t^2 - 1{,}066753*10^{-1}*S_t + \\ + 3{,}405211*10^3$$

$$R^2 = 0{,}999980$$

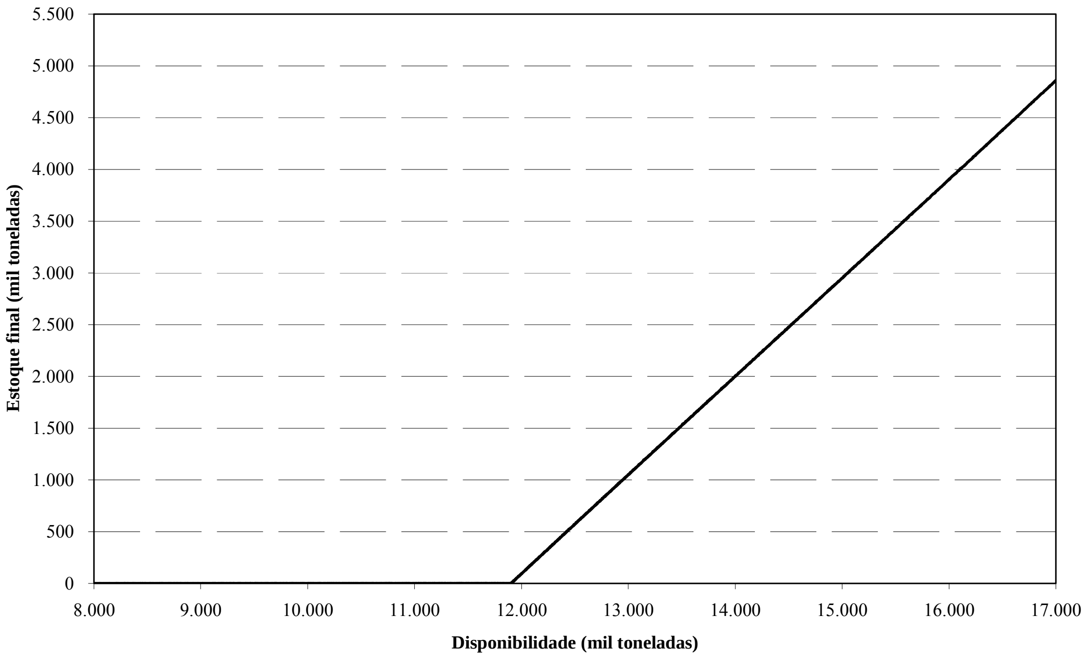



Figura 7 – Regra de armazenamento ótimo para infinitos períodos – disponibilidade inicial e estoque final da safra anterior de arroz, economia aberta sem intervenção do governo

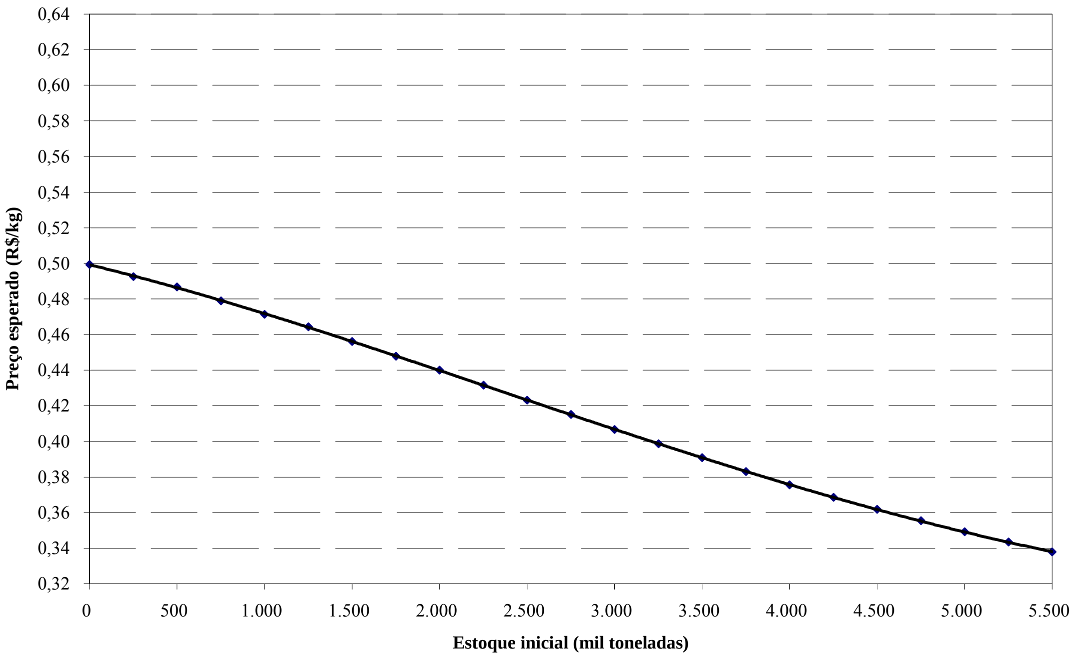



Figura 8 – Preço esperado em função do estoque final da safra anterior, economia aberta sem intervenção do governo

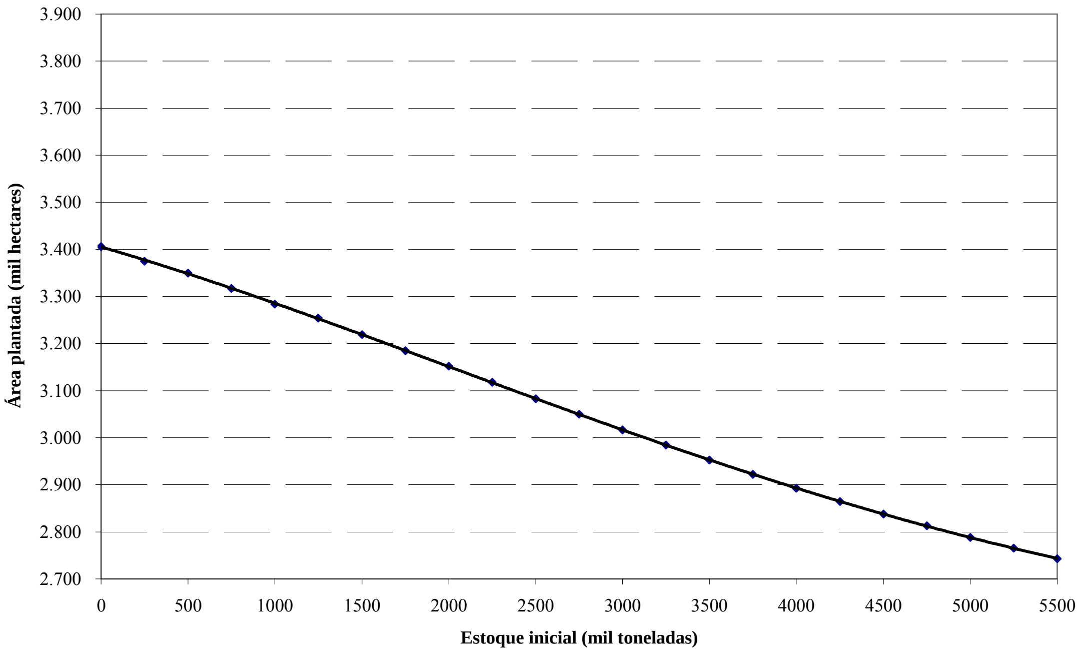



Figura 9 – Área plantada em função do estoque final da safra anterior, economia aberta sem intervenção do governo

#### 2.4.1.3 Economia fechada com intervenção governamental via PEP

Haverá formação de estoque para o caso de economia fechada com intervenção via PEP a partir de uma disponibilidade de 11.691,80 mil toneladas. Para qualquer disponibilidade menor que a especificada não ocorrerá formação de estoques, ou seja, haverá estoque igual a zero. Para todas as disponibilidades maiores que 11.691,80 mil toneladas o estoque a ser formado é uma função do preço esperado, dos custos de armazenamento, da taxa de desconto, do fator de perdas e das funções de oferta e demanda presentes. O cálculo das 2.944 situações consideradas, a exemplo de todos os demais modelos, gerou o gráfico apresentado na figura 10, ajustado para cada disponibilidade inicial de arroz possível e sujeito á todos os pressupostos e parâmetros impostos ao modelo. Esta "regra" de armazenamento ótimo, quando comparada com a do modelo básico, demonstra propensão à formação de estoques no mercado um pouco maior.

A função do preço recebido esperado pelos produtores foi ajustada, da mesma forma que os demais modelos, através de um polinômio do quarto grau no estoque final do período anterior. Esta função calculada para as 2.944 situações simuladas e é apresentada na figura 11 juntamente com os preços efetivamente pagos pelos compradores. Neste caso ocorreu um pequeno aumento no preço pago ao produtor e uma diminuição nos níveis de preço interno comparando-se com o modelo básico. A diferença entre a média do preço recebido pelo produtor e o preço pago pelo comprador corresponde aos prêmios pagos pelo governo para escoamento do produto. Este polinômio utilizado para descrever o preço recebido esperado pelos produtores para o modelo fechado com intervenção via PEP em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o fator de ajuste da função são apresentados a seguir:

$E(P_{t+1}) = -3{,}877920*10^{-17}*S_t^4 + 9{,}094785*10^{-13}*S_t^3 -3{,}136651*10^{-10}*S_t^2 - 6{,}098441*10^{-5}*S_t +$
$+ 6{,}290416*10^{-1}$

$R^2 = 0{,}999992$

Os valores calculados para a área plantada em função do estoque final da safra anterior foram ajustados através de um polinômio do quarto grau. A relação da área plantada com o estoque final do período anterior é apresentada na Figura 12. Com o aumento dos níveis de preço esperado pago ao produtor, com relação ao modelo básico, existe um evidente aumento na área plantada com arroz que pode ser avaliada observando-se a Figura 12. O polinômio de quarto grau utilizado para descrever a área plantada, para o modelo de mercado fechado com intervenção via PEP, em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o coeficiente de ajuste ($R^2$) são apresentados a seguir:

$A_{t+1} = -1{,}349236*10^{-13}*S_t^4 + 3{,}152702*10^{-9}*S_t^3 + 3{,}265304*10^{-7}*S_t^2 - 2{,}283500*10^{-1}*S_t +$
$+ 3{,}853013*10^3$

$R^2 = 0{,}999993$

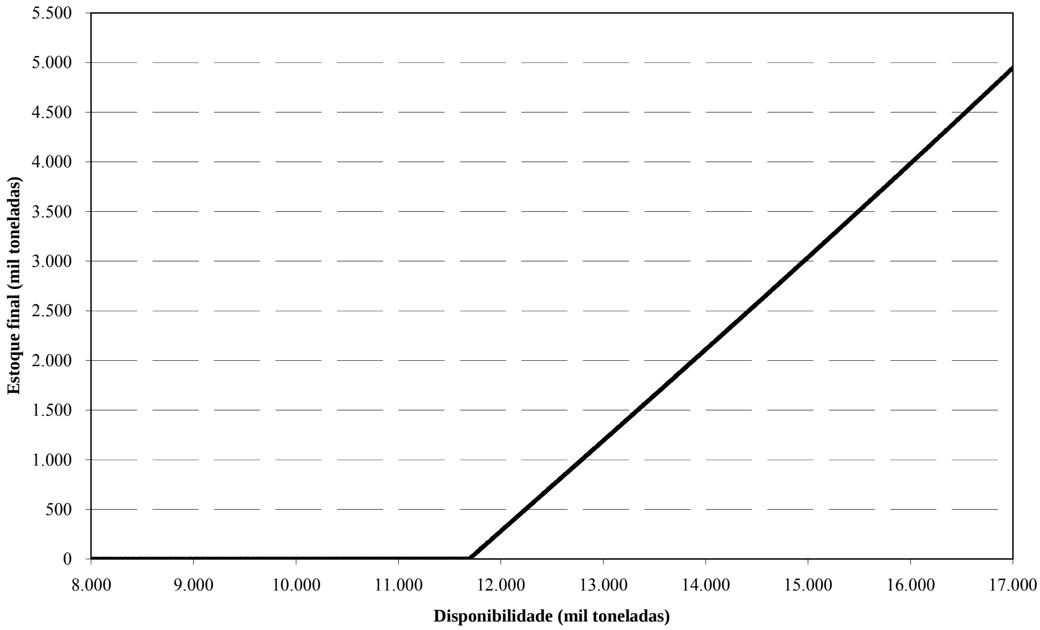



Figura 10 – Regra de armazenamento ótimo para infinitos períodos – disponibilidade inicial e estoque final da safra anterior de arroz, economia fechada com intervenção do governo via PEP

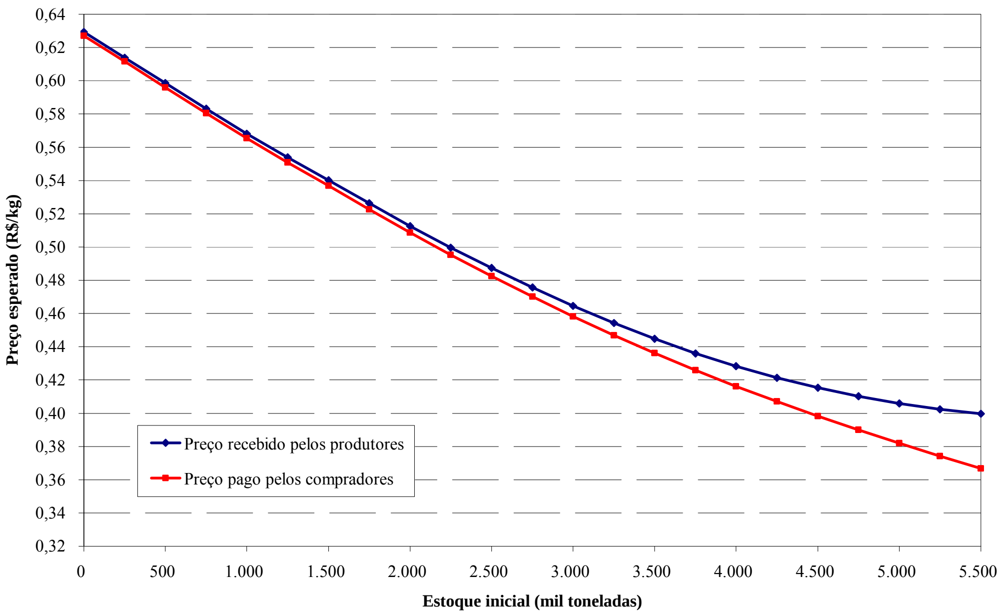



Figura 11 – Preço esperado em função do estoque final da safra anterior, economia fechada com intervenção do governo via PEP

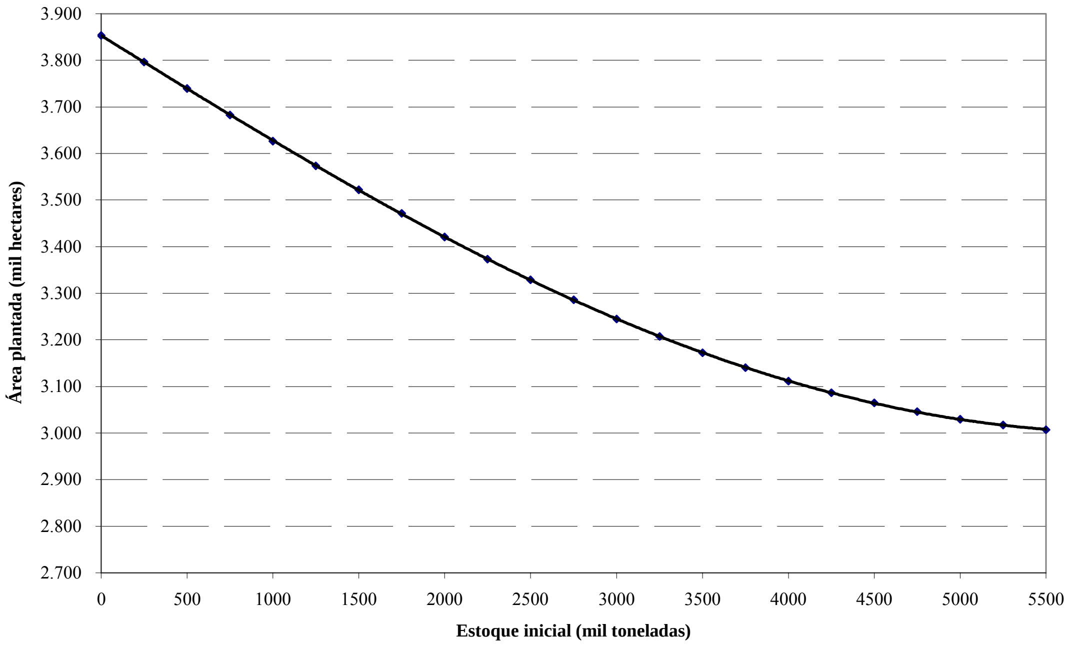



Figura 12 – Área plantada em função do estoque final da safra anterior, economia fechada com intervenção do governo via PEP

### 2.4.1.4 Economia fechada com intervenção governamental via AGF

O estoque final para o caso de economia fechada com intervenção via AGF, a exemplo do modelo de economia fechada com intervenção via PEP, começa a partir de uma disponibilidade de 11.691,80 mil toneladas. Para qualquer disponibilidade menor que a especificada não ocorrerá formação de estoques e para disponibilidades maiores haverá. O cálculo das 2.944 situações consideradas gerou o gráfico apresentado na Figura 13, ajustado para cada disponibilidade inicial de arroz possível e sujeito á todos os pressupostos e parâmetros impostos ao modelo. Esta “regra” de armazenamento ótimo privado, quando comparada com o modelo anterior gerou uma convergência idêntica. Este fato ocorre devido à utilização de parâmetros iguais e restrições que em última análise se equivalem. A grande diferença deste com relação ao modelo de economia fechada com PEP fica a cargo da existência de estoques públicos ao invés de prêmio pago pelo governo. Esta situação muda a inclinação da “regra” de estoque ótimo a partir de uma disponibilidade de 14.184 mil toneladas, quando começam a existir estoques do governo. Na próxima seção (simulações de longo-prazo) ver-se-á que neste caso haverá um maior estoque médio, pressionando os preços de mercado para baixo.

A função do preço esperado foi ajustada, novamente, através de um polinômio do quarto grau no estoque final do período anterior. Esta função é apresentada na Figura 14. Neste caso ocorreu um pequeno aumento no nível de preço interno comparando-se com o modelo básico, uma situação idêntica comparando-se com o preço pago ao produtor do modelo fechado com PEP e uma diminuição nos preços do mercado interno comparando-se com o preço pago ao produtor do modelo fechado com PEP. Este polinômio e o fator de ajuste da função são descritos a seguir:

$E(P_{t+1}) = -3{,}877920*10^{-17}*S_t^4 + 9{,}094785*10^{-13}*S_t^3 -3{,}136651*10^{-10}*S_t^2 - 6{,}098441*10^{-5}*S_t +$
$+ 6{,}290416*10^{-1}$

$R^2 = 0{,}999992$

Os valores calculados para a área plantada e o estoque final da safra anterior foram relacionados através de um polinômio do quarto grau. A relação da área plantada com o estoque final do período anterior é apresentada na Figura 15. Com o aumento dos níveis internos de preço esperado, em relação ao modelo básico, existe um pequeno aumento na área plantada com arroz que pode ser avaliada observando-se a Figura 15. Novamente, pode-se verificar que esta função teve uma convergência idêntica a de economia fechada com PEP pelos motivos já citados. O polinômio de quarto grau utilizado para descrever a área plantada, para o modelo de mercado fechado com intervenção via AGF, em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o coeficiente de ajuste ($R^2$) estão apresentados a seguir:

$A_{t+1} = -1{,}349236*10^{-13}*S_t^4 + 3{,}152702*10^{-9}*S_t^3 + 3{,}265304*10^{-7}*S_t^2 - 2{,}283500*10^{-1}*S_t +$
$+ 3{,}853013*10^3$

$R^2 = 0{,}999993$

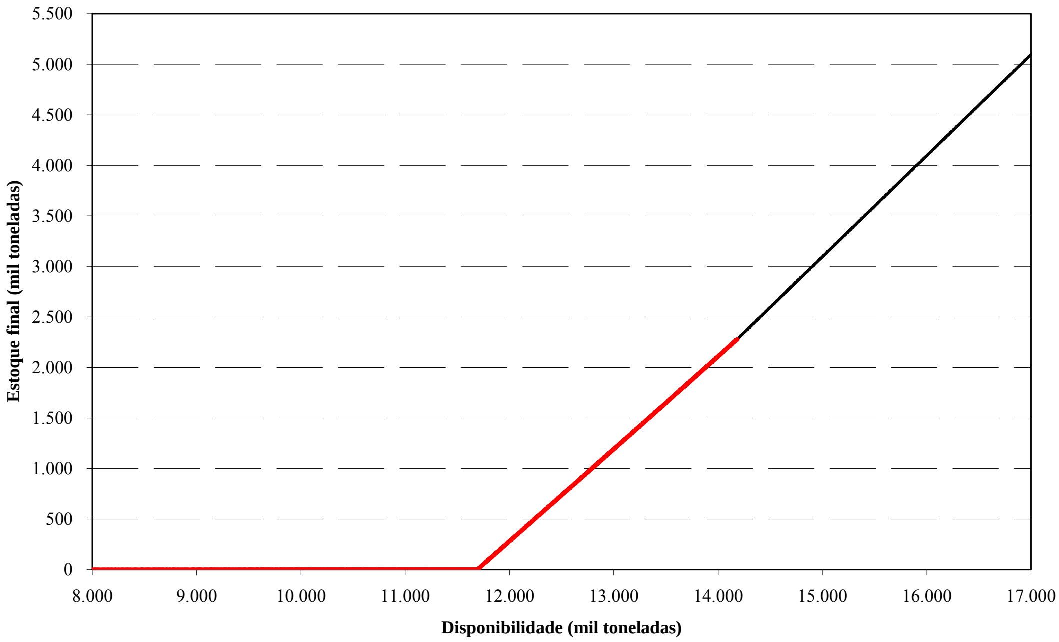



Figura 13 – Regra de armazenamento ótimo para infinitos períodos – disponibilidade inicial e estoque final da safra anterior de arroz, economia fechada com intervenção do governo via AGF

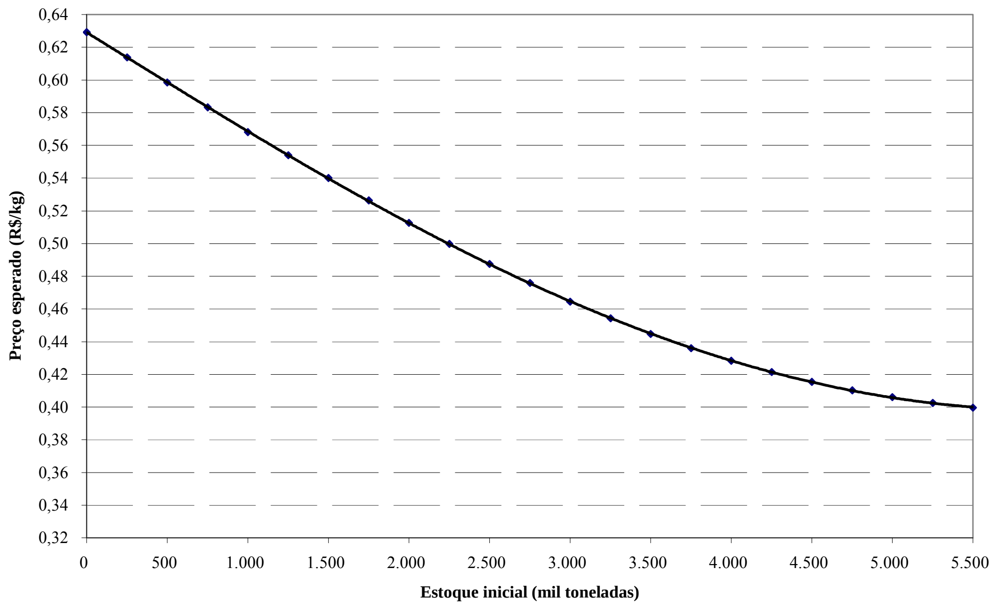



Figura 14 – Preço esperado em função do estoque final da safra anterior, economia fechada com intervenção do governo via AGF

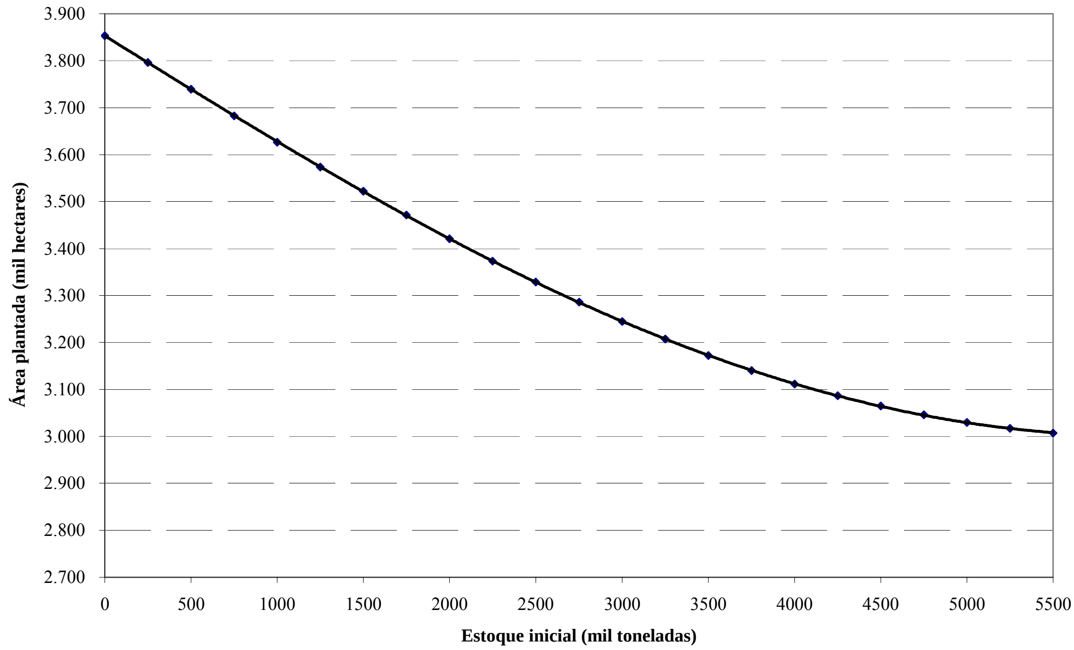



Figura 15 – Área Plantada em função do estoque final da safra anterior, economia fechada com intervenção do governo via AGF

### 2.4.1.5 Economia aberta com intervenção governamental via PEP

Ocorrerá formação de estoque neste caso para disponibilidades maiores que 11.899,60 mil toneladas. Para qualquer disponibilidade menor que esta não existirá formação de estoques, ou seja, haverá estoque igual a zero. Para todas as disponibilidades maiores que 11.899,60 mil toneladas, o estoque a ser formado será uma função do preço esperado, dos custos de armazenamento, da taxa de desconto, do fator de perdas e das funções de oferta e demanda no momento atual. O cálculo das 2.944 situações consideradas, a exemplo de todos os demais modelos, gerou o gráfico apresentado na figura 16, ajustado para cada disponibilidade inicial de arroz possível e sujeito á todos os pressupostos e parâmetros impostos ao modelo. Esta “regra” de armazenamento ótimo quando comparada com a do modelo aberto sem intervenção, demonstra propensão à formação de estoques no mercado um pouco maior e uma propensão à formação de estoques menor quando comparada á do modelo fechado com PEP.

A função que descreve o preço esperado recebido pelos produtores foi ajustada da mesma forma que os modelos anteriores. Esta função calculada para as 2.944 situações simuladas e é apresentada na figura 17 juntamente com os preços efetivamente pagos pelos compradores. Neste caso, a exemplo do caso de economia fechada, ocorreu um pequeno aumento no preço pago ao produtor e uma diminuição nos níveis de preço interno comparando-se com o modelo de mercado aberto sem intervenção e uma grande diminuição nos preços pagos ao produtor comparando-se com o modelo fechado com PEP. Como já foi enfatizado anteriormente, a diferença entre a média do preço recebido pelo produtor e o preço pago pelo comprador corresponde aos prêmios pagos pelo governo para escoamento do produto. O polinômio utilizado para descrever o preço recebido esperado pelos produtores para o modelo aberto com intervenção via PEP em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o fator de ajuste desta função estão expostos a seguir:

$$E(P_{t+1}) = -8{,}916779*10^{-17}*S_t^4 + 1{,}696360*10^{-12}*S_t^3 - 6{,}554537*10^{-9}*S_t^2 - 1{,}999171*10^{-5}*S_t + 5{,}009709*10^{-1}$$

$R^2 = 0{,}999898$

Da mesma maneira que os casos anteriores, os valores calculados para a área plantada e o estoque final do período anterior foram ajustados através de um polinômio do quarto grau. A relação da área plantada com o estoque final do período anterior é apresentada na Figura 18. O polinômio de quarto grau utilizado que descreve a área plantada, para o modelo de mercado aberto com intervenção via PEP, em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o coeficiente de ajuste ($R^2$) estão escritos a seguir:

$$A_{t+1} = -4{,}452553*10^{-13}*S_t^4 + 7{,}374798*10^{-9}*S_t^3 - 2{,}499861*10^{-5}*S_t^2 - 8{,}966242*10^{-2}*S_t + 3{,}414624*10^{3}$$

$R^2 = 0{,}999903$

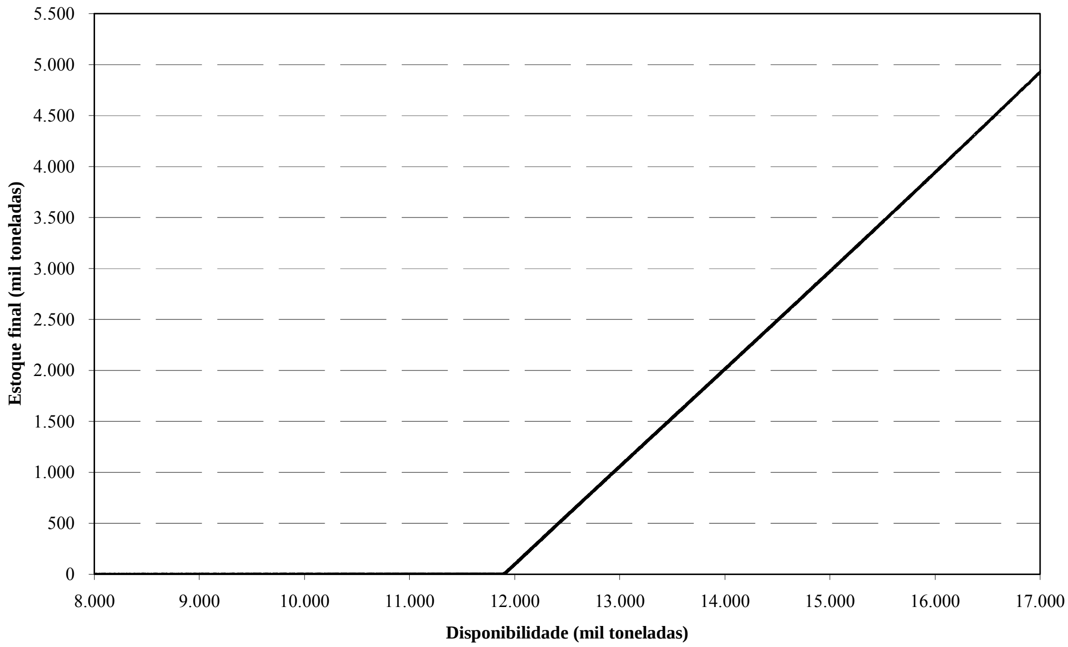



Figura 16 – Regra de armazenamento ótimo para infinitos períodos – disponibilidade inicial e estoque final da safra anterior de arroz, economia aberta com intervenção do governo via PEP

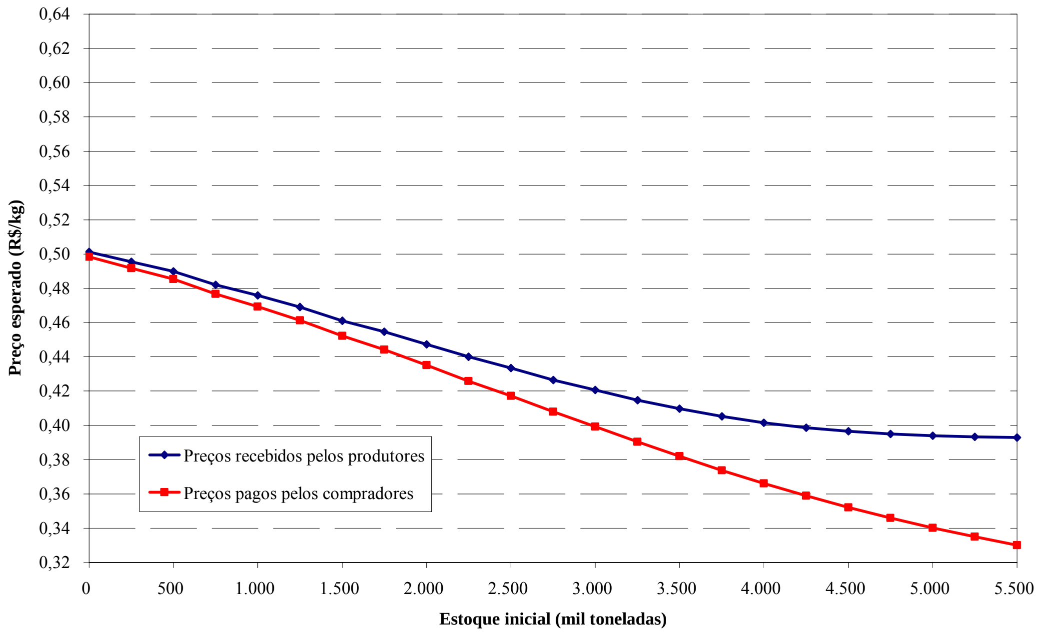



Figura 17 – Preço esperado em função do estoque final da safra anterior, economia aberta com intervenção do governo via PEP

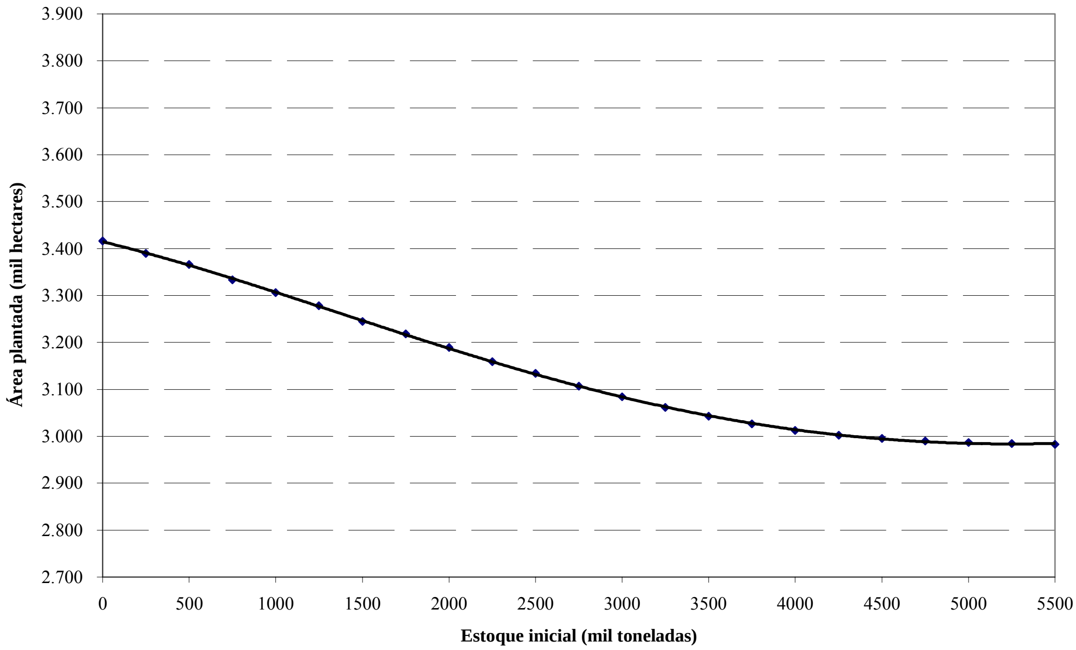



Figura 18 – Área plantada em função do estoque final da safra anterior, economia aberta com intervenção do governo via PEP

### 2.4.1.6 Economia aberta com intervenção governamental via AGF

A exemplo dos modelos de economia fechada com AGF e PEP, a convergência encontrada para este modelo é a mesma encontrada para o anterior. Desta forma começa a existir algum estoque final a partir de uma disponibilidade de 11.899,60 mil toneladas. Para qualquer disponibilidade menor não ocorrerá formação de estoques e para disponibilidades maiores haverá. Neste caso a mudança da inclinação da "regra" de estoque ocorre para uma disponibilidade de 12.042 mil toneladas, quando começam a existir estoques do governo. Este resultado significa uma grande participação dos estoques do governo nos estoques totais e uma conseqüente pequena participação dos estoques privados. A regra de armazenamento ótimo é apresentada na Figura 20.

A função do preço esperado foi ajustada, novamente, através de um polinômio do quarto grau no estoque final do período anterior. Esta função é apresentada na Figura 20. Neste caso ocorreu um pequeno aumento no preço interno comparando-se com o modelo de economia aberta e uma situação idêntica comparando-se com o modelo aberto com PEP. Este polinômio e o fator de ajuste da função são descritos a seguir:

$E(P_{t+1}) = -8,916779*10^{-17}*S_t^4 + 1,696360*10^{-12}*S_t^3 -6,554538*10^{-9}*S_t^2 - 1,999171*10^{-5}*S_t +$
$+ 5,009709*10^{-1}$

$R^2 = 0,999898$

Os valores calculados para a área plantada e o estoque final da safra anterior foram ajustados, a exemplo dos demais modelos, através de um polinômio do quarto grau. A relação da área plantada com o estoque final do período anterior é apresentada na Figura 21. Novamente, pode-se verificar que esta função teve uma convergência idêntica a de economia aberta com PEP. O polinômio de quarto grau utilizado para descrever a área plantada, para o modelo de mercado aberta com intervenção via AGF, em função do estoque inicial da safra anterior, bem como, o coeficiente de ajuste ($R^2$) estão apresentados a seguir:

$A_{t+1} = -4,452553*10^{-13}*S_t^4 + 7,374798*10^{-9}*S_t^3 - 2,499861 *10^{-5}*S_t^2 - 8,966242*10^{-2}*S_t +$
$+ 3,414624*10^3$

$R^2 = 0,999903$

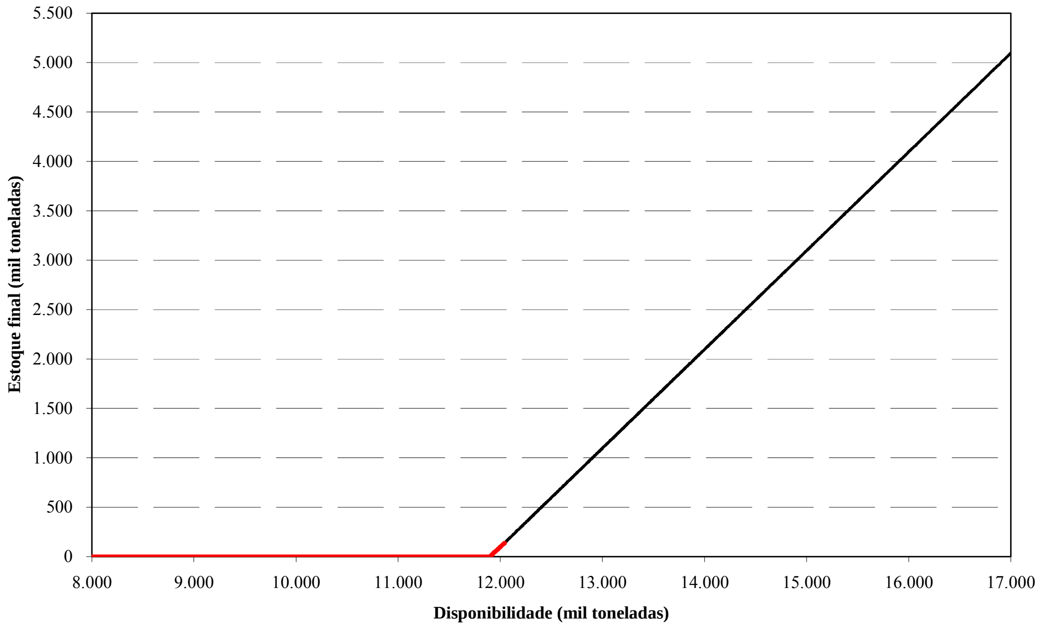



Figura 19 – Regra de armazenamento ótimo para infinitos períodos – disponibilidade inicial e estoque final da safra anterior de arroz, economia aberta com intervenção do governo via AGF

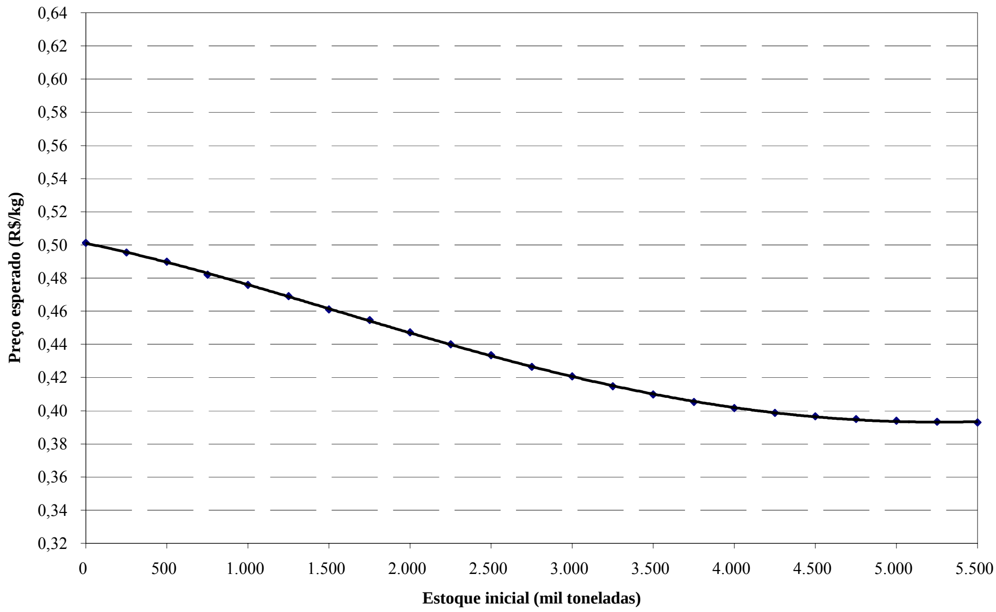



Figura 20 – Preço esperado em função do estoque final da safra anterior, economia aberta com intervenção do governo via AGF

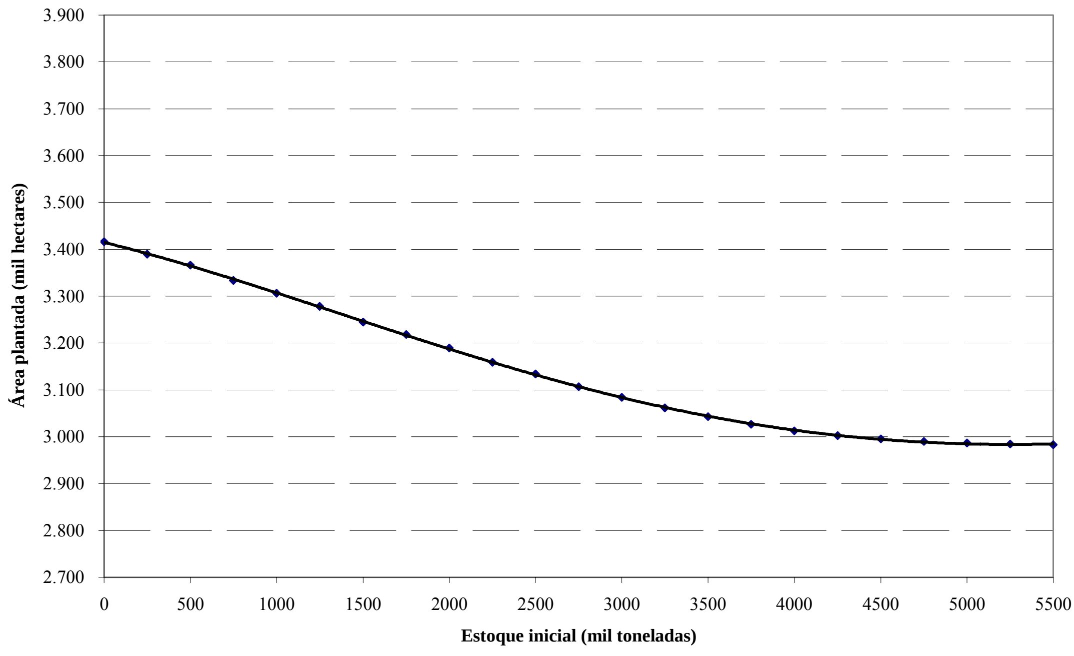



Figura 21 – Área plantada em função do estoque final da safra anterior, economia aberta com intervenção do governo via AGF

### 2.4.2 Médias de longo prazo

As médias de longo-prazo foram obtidas através de simulações de longo-prazo. Foram avaliadas duas situações para o cálculo das médias de longo-prazo. A primeira com uma disponibilidade inicial excepcionalmente alta (com estoque final do período anterior de 4.000 mil toneladas) e outra com disponibilidade baixa (com estoque final do período anterior zero). Estas duas situações foram escolhidas arbitrariamente de acordo com o proposto por Wright e Willians (1991) e Miranda e Fackler (2001) que afirmam que as simulações devem partir de situações de extremo, permitindo avaliar a resposta do sistema a estas situações. Estas médias de longo-prazo são frutos da relação entre 2.500 simulações. O que está apresentado nas tabelas são as médias destas 2.500 situações simuladas. Foram utilizados para todas as doze situações dos seis modelos as mesmas simulações das variáveis endógenas ou os mesmos números para as variáveis aleatórias. Utilizou-se este procedimento com o intuito de facilitar a comparação entre os modelos.

Em todos os casos ocorre convergência satisfatória para os parâmetros analisados, quando se compara as duas situações de estoque inicial consideradas (zero e 4.000 mil toneladas). De forma geral até o final das dez safras todos os parâmetros analisados dos seis modelos propostos convergiram para uma média nas duas situações de estoque inicial analisadas.

As variáveis dos modelos se comportaram da forma esperada. O consumo reduz com aumento de preços, a área plantada aumenta frente reduções de estoque e o estoque é menor quando os preços de mercado no momento atual são maiores.

As Tabelas 5 e 6 apresentam as médias de longo-prazo do modelo básico para estoque inicial zero e 4.000 mil toneladas respectivamente. Para o estoque inicial zero a área plantada inicia-se com 3,85 milhões de hectares e converge para algo em torno de 3,62 milhões de toneladas. No caso de estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas a área plantada inicia-se com 3,07 e converge para os mesmos 3,62 milhões de toneladas. A produção no ano 1 para estoque zero é de 12,31 milhões de toneladas e para o estoque de 4 milhões de toneladas é de 9,83 milhões. Em ambos os casos a convergência de longo-prazo leva a 11,60 milhões. O preço para a safra 1 com estoque inicial zero é de R$ 622,59/tonelada, com estoque inicial 4,00 milhões de toneladas é de R$ 420,96/tonelada. A convergência para ambos os casos leva a um preço médio de longo-prazo em torno de R$560,00/tonelada e R$570,00/tonelada.

As Tabelas 7 e 8 mostram os resultados das médias de longo-prazo de economia aberta sem intervenção com estoques iniciais de zero e 4.000 mil toneladas respectivamente. Para o estoque inicial zero a área plantada inicia-se com 3,41 milhões de hectares e converge para algo em torno de 3,38 milhões de toneladas. No caso de estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas a área plantada inicia-se com 2,89 e converge para os mesmos 3,38 milhões de toneladas. A produção no ano 1 para estoque zero é de 10,89 milhões de toneladas e para o estoque de 4 milhões de toneladas é de 9,25 milhões. Em ambos os casos a convergência de longo-prazo leva a 10,83 milhões. O preço para a safra 1 com estoque inicial zero é de R$ 495,79/tonelada, já com estoque inicial 4,00 milhões de toneladas é de R$ 374,87/tonelada. A convergência para ambos os casos leva a um preço médio de longo-prazo em torno de R$ 490,00/tonelada. As importações para a primeira safra do período de dez anos para o estoque inicial zero começa com 963,15 mil toneladas e para o estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas inicia com 43,15 mil toneladas. A convergência no período 10 leva a uma importação de cerca de 885,00 mil toneladas.

Tabela 5 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia fechada sem intervenção governamental com estoque inicial zero

| Ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque final da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final (mil ton.) | Preço (R$/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.849,04 | 3,20 | 12.309,69 | 0,00 | 0,00 | 12.309,77 | 11.478,37 | 831,40 | 0,62259 |
| 2 | 3.667,15 | 3,20 | 11.749,81 | 831,40 | 816,55 | 12.571,58 | 11.571,12 | 1.000,45 | 0,57247 |
| 3 | 3.631,02 | 3,21 | 11.645,05 | 1.000,45 | 982,59 | 12.626,73 | 11.587,49 | 1.039,25 | 0,56362 |
| 4 | 3.623,39 | 3,20 | 11.590,79 | 1.039,25 | 1.020,69 | 12.645,38 | 11.601,83 | 1.043,55 | 0,55587 |
| 5 | 3.622,32 | 3,21 | 11.620,46 | 1.043,55 | 1.024,92 | 12.645,18 | 11.593,67 | 1.051,51 | 0,56028 |
| 6 | 3.620,95 | 3,20 | 11.597,73 | 1.051,51 | 1.032,74 | 12.632,38 | 11.576,63 | 1.055,75 | 0,56949 |
| 7 | 3.620,20 | 3,19 | 11.560,57 | 1.055,75 | 1.036,90 | 12.592,83 | 11.580,17 | 1.012,67 | 0,56758 |
| 8 | 3.628,49 | 3,19 | 11.592,09 | 1.012,67 | 994,59 | 12.584,01 | 11.570,77 | 1.013,24 | 0,57266 |
| 9 | 3.628,85 | 3,20 | 11.614,29 | 1.013,24 | 995,15 | 12.611,39 | 11.578,87 | 1.032,52 | 0,56828 |
| 10 | 3.624,79 | 3,20 | 11.602,70 | 1.032,52 | 1.014,08 | 12.619,49 | 11.592,60 | 1.026,89 | 0,56086 |

Tabela 6 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia fechada sem intervenção governamental com estoque inicial de 4.000 mil toneladas

| Ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque final da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final (mil ton.) | Preço (R$/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.074,84 | 3,20 | 9.833,70 | 4.000,00 | 3.928,59 | 13.762,37 | 11.851,45 | 1.910,92 | 0,42096 |
| 2 | 3.442,93 | 3,20 | 11.031,00 | 1.910,92 | 1.876,81 | 12.913,02 | 11.678,58 | 1.234,44 | 0,51439 |
| 3 | 3.581,75 | 3,21 | 11.486,83 | 1.234,44 | 1.212,40 | 12.698,33 | 11.610,59 | 1.087,74 | 0,55114 |
| 4 | 3.613,14 | 3,20 | 11.558,13 | 1.087,74 | 1.068,32 | 12.660,35 | 11.606,84 | 1.053,51 | 0,55316 |
| 5 | 3.620,21 | 3,21 | 11.613,68 | 1.053,51 | 1.034,70 | 12.648,18 | 11.594,71 | 1.053,47 | 0,55972 |
| 6 | 3.620,53 | 3,20 | 11.596,41 | 1.053,47 | 1.034,67 | 12.632,98 | 11.576,84 | 1.056,14 | 0,56938 |
| 7 | 3.620,12 | 3,19 | 11.560,31 | 1.056,14 | 1.037,29 | 12.592,95 | 11.580,20 | 1.012,75 | 0,56756 |
| 8 | 3.628,47 | 3,19 | 11.592,03 | 1.012,75 | 994,67 | 12.584,03 | 11.570,78 | 1.013,25 | 0,57265 |
| 9 | 3.628,85 | 3,20 | 11.614,28 | 1.013,25 | 995,17 | 12.611,39 | 11.578,87 | 1.032,52 | 0,56828 |
| 10 | 3.624,79 | 3,20 | 11.602,70 | 1.032,52 | 1.014,09 | 12.619,49 | 11.592,60 | 1.026,89 | 0,56086 |

Tabela 7 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta sem intervenção governamental com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque final da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final (mil ton.) | Importação (mil ton.) | Preço (R$/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.405,21 | 3,20 | 10.890,26 | 0,00 | 0,00 | 10.890,34 | 11.713,00 | 140,49 | 963,15 | 0,49579 |
| 2 | 3.388,38 | 3,20 | 10.856,04 | 140,49 | 137,98 | 10.999,23 | 11.722,69 | 170,17 | 893,62 | 0,49055 |
| 3 | 3.384,78 | 3,21 | 10.856,24 | 170,17 | 167,13 | 11.022,46 | 11.725,22 | 184,98 | 887,73 | 0,48918 |
| 4 | 3.382,87 | 3,20 | 10.818,54 | 184,98 | 181,67 | 11.034,12 | 11.729,10 | 186,36 | 881,35 | 0,48708 |
| 5 | 3.382,78 | 3,21 | 10.852,22 | 186,36 | 183,04 | 11.035,06 | 11.727,01 | 189,91 | 881,86 | 0,48821 |
| 6 | 3.382,26 | 3,20 | 10.835,08 | 189,91 | 186,52 | 11.023,51 | 11.727,33 | 191,41 | 895,22 | 0,48804 |
| 7 | 3.382,04 | 3,19 | 10.800,17 | 191,41 | 187,99 | 10.983,52 | 11.722,35 | 167,15 | 905,98 | 0,49073 |
| 8 | 3.385,07 | 3,19 | 10.813,19 | 167,15 | 164,16 | 10.974,68 | 11.721,42 | 174,31 | 921,05 | 0,49123 |
| 9 | 3.384,13 | 3,20 | 10.832,11 | 174,31 | 171,19 | 11.005,25 | 11.723,04 | 180,05 | 897,84 | 0,49036 |
| 10 | 3.383,44 | 3,20 | 10.830,32 | 180,05 | 176,83 | 11.009,86 | 11.723,14 | 171,40 | 884,68 | 0,49031 |

Tabela 8 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta sem intervenção governamental com estoque inicial de 4.000 mil toneladas

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque final da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final (mil ton.) | Importação (mil ton.) | Preço (R$/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.893,03 | 3,20 | 9.252,26 | 4.000,00 | 3.928,59 | 13.180,93 | 11.936,72 | 1.287,36 | 43,15 | 0,37487 |
| 2 | 3.244,03 | 3,20 | 10.393,79 | 1.287,36 | 1.264,38 | 11.663,38 | 11.785,39 | 399,31 | 521,32 | 0,45666 |
| 3 | 3.356,42 | 3,21 | 10.765,12 | 399,31 | 392,18 | 11.156,39 | 11.737,19 | 225,39 | 806,19 | 0,48271 |
| 4 | 3.377,88 | 3,20 | 10.802,67 | 225,39 | 221,37 | 11.057,94 | 11.730,93 | 193,33 | 866,32 | 0,48609 |
| 5 | 3.381,93 | 3,21 | 10.849,47 | 193,33 | 189,88 | 11.039,15 | 11.727,51 | 191,05 | 879,41 | 0,48795 |
| 6 | 3.382,12 | 3,20 | 10.834,63 | 191,05 | 187,64 | 11.024,18 | 11.727,37 | 191,62 | 894,81 | 0,48802 |
| 7 | 3.382,02 | 3,19 | 10.800,09 | 191,62 | 188,20 | 10.983,64 | 11.722,36 | 167,18 | 905,89 | 0,49073 |
| 8 | 3.385,06 | 3,19 | 10.813,18 | 167,18 | 164,20 | 10.974,70 | 11.721,43 | 174,31 | 921,03 | 0,49123 |
| 9 | 3.384,13 | 3,20 | 10.832,11 | 174,31 | 171,20 | 11.005,25 | 11.723,04 | 180,05 | 897,84 | 0,49036 |
| 10 | 3.383,44 | 3,20 | 10.830,32 | 180,05 | 176,83 | 11.009,86 | 11.723,14 | 171,40 | 884,68 | 0,49031 |

Como pode ser visto nas Tabelas 9 e 10, com estoque inicial zero a área plantada inicial é de 3,85 milhões de hectares e converge para algo em torno de 3,63 milhões de toneladas. No caso de estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas a área plantada inicia-se com 3,11 e converge para os mesmos 3,63 milhões de toneladas. A produção no ano 1 para estoque zero é de 12,32 milhões de toneladas e para o estoque de 4 milhões de toneladas é de 9,95 milhões. Em ambos os casos a convergência de longo-prazo leva a 11,61 milhões. O preço pago ao produtor para a safra 1 com estoque inicial zero é de R$ 622,69/tonelada, com estoque inicial 4,00 milhões de toneladas é de R$ 427,42/tonelada. A convergência para ambos os caso leva a um preço pago ao produtor médio de longo-prazo fica em torno de R$560,00/tonelada. Quanto ao preço de mercado a convergência final para ambos os modelos fica em torno de R$ 557/tonelada O prêmio para a primeira safra do período com estoque inicial zero fica em torno de R$ 2,00/tonelada e para o estoque de 4 milhões de toneladas de R$ 11,63/tonelada. A convergência leva para um prêmio em torno de R$ 3,20/tonelada. O custo total do governo é de cerca de R$ 30 e de R$ 130 milhões de reais para estoque zero e 4 milhões respectivamente e de cerca de R$ 42 milhões para a safra final dos dez anos.

São apresentados nas Tabelas 11 e 12 as médias de longo-prazo do modelo fechado com intervenção do governo via AGF para estoque inicial zero e 4.000 mil toneladas. Para o estoque inicial zero a para o estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas a área plantada converge para aproximadamente os mesmos 3,63 milhões de toneladas obtidos no modelo fechado com PEP. A produção no ano 1 para estoque zero e para o estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas do modelo fechado com AGF são as mesmas obtidas para o modelo fechado com PEP. Em ambos os casos a convergência de longo-prazo leva a um número de produção próximo a 11,61 milhões de toneladas. O preço para a safra 1 com estoque inicial zero é de R$ 622,69/tonelada, com estoque inicial 4,00 milhões de toneladas é de R$ 427,42/tonelada. A convergência para ambos os casos leva a um preço pago ao produtor médio de longo-prazo fica em torno de R$560,00/tonelada. O custo estimado que o governo teria fazendo a operação de AGF foi de R$ 29 milhões no primeiro ano para o estoque inicial zero e de R$ 120 milhões para o estoque final de 4 milhões. A convergência leva para um custo no penúltimo ano do período com AGF em torno de R$ 95 milhões.

Tabela 9 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia fechada com intervenção governamental via PEP com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Preço pago ao produtor (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.853,01 | 3,20 | 12.322,39 | 0,00 | 0,00 | 12.322,46 | 11.481,88 | 840,58 | 0,62070 | 0,62269 | 29.500.337,13 |
| 2 | 3.671,65 | 3,20 | 11.764,21 | 840,58 | 825,58 | 12.594,99 | 11.576,02 | 1.018,97 | 0,56982 | 0,57272 | 39.300.423,87 |
| 3 | 3.634,26 | 3,21 | 11.655,45 | 1.018,97 | 1.000,78 | 12.655,32 | 11.593,45 | 1.061,87 | 0,56040 | 0,56381 | 45.909.207,12 |
| 4 | 3.626,18 | 3,20 | 11.599,68 | 1.061,87 | 1.042,91 | 12.676,49 | 11.608,22 | 1.068,27 | 0,55242 | 0,55568 | 43.939.355,16 |
| 5 | 3.624,61 | 3,21 | 11.627,81 | 1.068,27 | 1.049,20 | 12.676,81 | 11.600,23 | 1.076,59 | 0,55673 | 0,56028 | 47.287.722,55 |
| 6 | 3.623,39 | 3,20 | 11.605,55 | 1.076,59 | 1.057,37 | 12.664,82 | 11.583,50 | 1.081,32 | 0,56578 | 0,56941 | 48.659.773,16 |
| 7 | 3.622,62 | 3,19 | 11.568,27 | 1.081,32 | 1.062,02 | 12.625,64 | 11.587,34 | 1.038,31 | 0,56370 | 0,56678 | 40.698.382,66 |
| 8 | 3.630,43 | 3,19 | 11.598,37 | 1.038,31 | 1.019,77 | 12.615,47 | 11.578,42 | 1.037,06 | 0,56852 | 0,57173 | 42.750.435,65 |
| 9 | 3.631,29 | 3,20 | 11.622,18 | 1.037,06 | 1.018,54 | 12.642,67 | 11.585,66 | 1.057,01 | 0,56461 | 0,56789 | 43.877.899,63 |
| 10 | 3.627,26 | 3,20 | 11.610,59 | 1.057,01 | 1.038,14 | 12.651,43 | 11.599,64 | 1.051,79 | 0,55705 | 0,56022 | 42.151.809,75 |

Tabela 10 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia fechada com intervenção governamental via PEP com estoque inicial de 4.000 mil toneladas

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Preço pago ao produtor (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.112,07 | 3,20 | 9.952,76 | 4.000,00 | 3.928,59 | 13.881,43 | 11.861,02 | 2.020,41 | 0,41579 | 0,42742 | 129.654.278,39 |
| 2 | 3.434,43 | 3,20 | 11.003,71 | 2.020,41 | 1.984,34 | 12.993,26 | 11.693,75 | 1.299,51 | 0,50619 | 0,51099 | 59.100.936,39 |
| 3 | 3.576,92 | 3,21 | 11.471,29 | 1.299,51 | 1.276,31 | 12.746,70 | 11.621,29 | 1.125,41 | 0,54535 | 0,54917 | 50.047.033,61 |
| 4 | 3.613,14 | 3,20 | 11.558,13 | 1.125,41 | 1.105,32 | 12.697,35 | 11.614,77 | 1.082,58 | 0,54888 | 0,55222 | 44.786.666,37 |
| 5 | 3.621,65 | 3,21 | 11.618,31 | 1.082,58 | 1.063,26 | 12.681,37 | 11.601,72 | 1.079,64 | 0,55593 | 0,55949 | 47.481.326,09 |
| 6 | 3.622,76 | 3,20 | 11.603,53 | 1.079,64 | 1.060,37 | 12.665,81 | 11.583,82 | 1.081,99 | 0,56560 | 0,56924 | 48.701.423,45 |
| 7 | 3.622,48 | 3,19 | 11.567,83 | 1.081,99 | 1.062,67 | 12.625,86 | 11.587,40 | 1.038,46 | 0,56367 | 0,56675 | 40.707.000,30 |
| 8 | 3.630,40 | 3,19 | 11.598,27 | 1.038,46 | 1.019,92 | 12.615,53 | 11.578,44 | 1.037,09 | 0,56851 | 0,57172 | 42.752.364,61 |
| 9 | 3.631,29 | 3,20 | 11.622,16 | 1.037,09 | 1.018,58 | 12.642,68 | 11.585,67 | 1.057,01 | 0,56461 | 0,56789 | 43.878.314,05 |
| 10 | 3.627,26 | 3,20 | 11.610,58 | 1.057,01 | 1.038,14 | 12.651,43 | 11.599,64 | 1.051,79 | 0,55705 | 0,56022 | 42.151.900,50 |

Tabela 11 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia fechada com intervenção governamental via AGF com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Privado (mil ton.) | Estoque Governo (mil ton.) | Estoque Total (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.853,01 | 3,20 | 12.322,39 | 0,00 | 0,00 | 12.322,46 | 11.478,19 | 582,04 | 262,24 | 844,28 | 0,62269 | 59.662.094,88 |
| 2 | 3.671,14 | 3,20 | 11.762,57 | 844,28 | 829,20 | 12.596,98 | 11.570,87 | 652,32 | 373,78 | 1.026,11 | 0,57260 | 86.107.705,74 |
| 3 | 3.633,16 | 3,21 | 11.651,90 | 1.026,11 | 1.007,79 | 12.658,78 | 11.587,65 | 658,13 | 413,01 | 1.071,13 | 0,56353 | 98.466.202,00 |
| 4 | 3.624,76 | 3,20 | 11.595,16 | 1.071,13 | 1.052,01 | 12.681,07 | 11.602,79 | 674,71 | 403,57 | 1.078,28 | 0,55535 | 96.104.343,27 |
| 5 | 3.623,00 | 3,21 | 11.622,66 | 1.078,28 | 1.059,03 | 12.681,49 | 11.594,37 | 669,69 | 417,43 | 1.087,12 | 0,55990 | 101.884.571,53 |
| 6 | 3.621,75 | 3,20 | 11.600,26 | 1.087,12 | 1.067,71 | 12.669,88 | 11.577,61 | 671,98 | 420,29 | 1.092,27 | 0,56896 | 103.747.738,83 |
| 7 | 3.620,92 | 3,19 | 11.562,81 | 1.092,28 | 1.072,78 | 12.630,94 | 11.582,48 | 681,02 | 367,44 | 1.048,47 | 0,56633 | 89.421.651,96 |
| 8 | 3.628,80 | 3,19 | 11.593,18 | 1.048,47 | 1.029,75 | 12.620,26 | 11.573,43 | 667,36 | 379,46 | 1.046,83 | 0,57122 | 92.953.951,71 |
| 9 | 3.629,76 | 3,20 | 11.617,28 | 1.046,83 | 1.028,14 | 12.647,36 | 11.580,40 | 672,65 | 394,31 | 1.066,96 | 0,56745 | 95.259.992,51 |
| 10 | 3.625,74 | 3,20 | 11.605,72 | 1.066,96 | 1.047,92 | 12.656,34 | 11.594,62 | 674,76 | 386,96 | 1.061,72 | 0,55976 | - |

Tabela 12 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia fechada com intervenção governamental via AGF com estoque inicial de 4.000 mil toneladas

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque da safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Privado (mil ton.) | Estoque Governo (mil ton.) | Estoque Total (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.112,07 | 3,20 | 9.952,76 | 4.000,00 | 3.928,59 | 13.881,43 | 11.839,50 | 810,47 | 1.231,46 | 2.041,93 | 0,42742 | 317.974.309,02 |
| 2 | 3.431,60 | 3,20 | 10.994,65 | 2.041,93 | 2.005,48 | 13.005,33 | 11.686,21 | 746,40 | 572,73 | 1.319,12 | 0,51027 | 139.337.433,30 |
| 3 | 3.573,69 | 3,21 | 11.460,93 | 1.319,12 | 1.295,57 | 12.755,60 | 11.615,77 | 694,20 | 445,63 | 1.139,83 | 0,54833 | 108.983.625,26 |
| 4 | 3.610,77 | 3,20 | 11.550,61 | 1.139,83 | 1.119,48 | 12.704,00 | 11.609,70 | 671,63 | 422,67 | 1.094,30 | 0,55162 | 99.730.673,75 |
| 5 | 3.619,71 | 3,21 | 11.612,09 | 1.094,30 | 1.074,76 | 12.686,65 | 11.596,00 | 671,70 | 418,96 | 1.090,66 | 0,55902 | 102.401.815,96 |
| 6 | 3.621,03 | 3,20 | 11.597,95 | 1.090,66 | 1.071,19 | 12.671,04 | 11.577,98 | 670,80 | 422,26 | 1.093,06 | 0,56876 | 104.060.448,10 |
| 7 | 3.620,76 | 3,19 | 11.562,30 | 1.093,07 | 1.073,55 | 12.631,21 | 11.582,55 | 681,18 | 367,47 | 1.048,65 | 0,56629 | 89.441.966,37 |
| 8 | 3.628,76 | 3,19 | 11.593,06 | 1.048,65 | 1.029,93 | 12.620,32 | 11.573,46 | 667,40 | 379,47 | 1.046,87 | 0,57120 | 92.958.546,84 |
| 9 | 3.629,75 | 3,20 | 11.617,25 | 1.046,87 | 1.028,18 | 12.647,37 | 11.580,40 | 672,66 | 394,31 | 1.066,97 | 0,56745 | 95.261.019,28 |
| 10 | 3.625,74 | 3,20 | 11.605,71 | 1.066,97 | 1.047,93 | 12.656,35 | 11.594,62 | 674,76 | 386,96 | 1.061,72 | 0,55976 | - |

Nas Tabelas 13 e 14 são apresentadas as médias de longo-prazo do modelo aberto com intervenção do governo via PEP para estoque inicial zero e 4.000 mil toneladas. Para o estoque inicial zero a área plantada inicial é de 3,41 milhões de hectares e converge para algo em torno de 3,39 milhões de toneladas. No caso de estoque inicial de 4,00 milhões de toneladas a área plantada inicia-se com 3,01 e converge para os mesmos 3,39 milhões de toneladas. A produção no ano 1 para estoque zero é de 10,92 milhões de toneladas e para o estoque de 4 milhões de toneladas é de 9,64 milhões. Em ambos os casos a convergência de longo-prazo leva a 10,86 milhões. O preço pago ao produtor para a safra 1 com estoque inicial zero é de R$ 497,84 /tonelada, com estoque inicial 4,00 milhões de toneladas é de R$ 400,91 /tonelada. A convergência para ambos os caso leva a um preço pago ao produtor médio de longo-prazo fica em torno de R$ 493 /tonelada. Quanto ao preço de mercado a convergência final para ambos os modelos fica em torno de R$489/tonelada O prêmio para a primeira safra do período com estoque inicial zero fica em torno de R$ 2,73 /tonelada e para o estoque de 4 milhões de toneladas de R$ 35,39/tonelada. A convergência leva para um prêmio em torno de R$3,53/tonelada. O custo total do governo para a primeira safra é de R$ 35 e de R$ 361 milhões de reais para estoque zero e 4 milhões, respectivamente, e de cerca de R$ 44 milhões para a safra final dos dez anos.

São apresentadas nas Tabelas 15 e 16 as médias de longo-prazo do modelo aberto com intervenção do governo via AGF para estoque inicial zero e 4.000 mil toneladas. Os parâmetros de estoque inicial e produção do modelo aberto com AGF são bastante próximos ao modelo de mercado aberto com PEP. O preço para a safra 1 com estoque inicial zero é de R$498,39/tonelada, com estoque inicial 4,00 milhões de toneladas é de R$400,91/tonelada. A convergência para ambos os casos leva a um preço médio de longo-prazo fica em torno de R$492/tonelada. O custo total que o governo obteria fazendo a operação de AGF foi de R$ 51 milhões no segundo ano para o estoque inicial zero e de R$ 566 milhões para estoque inicial de 4 milhões de toneladas. A convergência leva para um prejuízo do governo no penúltimo período em torno de R$ 70 milhões.

Tabela 13 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta com intervenção governamental via PEP com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final | Impor-tação | Preço (R$/kg) | Preço pago ao produtor (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.414,62 | 3,20 | 10.920,37 | 0,00 | 0,00 | 10.920,44 | 11.714,25 | 148,49 | 942,30 | 0,49511 | 0,49784 | 34.853.205,93 |
| 2 | 3.398,76 | 3,20 | 10.889,30 | 148,49 | 145,84 | 11.040,35 | 11.724,78 | 183,59 | 868,02 | 0,48942 | 0,49285 | 42.863.720,08 |
| 3 | 3.394,91 | 3,21 | 10.888,76 | 183,59 | 180,31 | 11.068,17 | 11.727,38 | 200,46 | 859,67 | 0,48802 | 0,49182 | 47.653.741,37 |
| 4 | 3.393,05 | 3,20 | 10.851,05 | 200,46 | 196,89 | 11.081,84 | 11.731,16 | 203,58 | 852,90 | 0,48597 | 0,48978 | 47.427.910,28 |
| 5 | 3.392,77 | 3,21 | 10.884,29 | 203,58 | 199,95 | 11.084,04 | 11.729,70 | 207,10 | 852,77 | 0,48676 | 0,49069 | 49.128.119,06 |
| 6 | 3.392,34 | 3,20 | 10.867,40 | 207,10 | 203,40 | 11.072,71 | 11.730,57 | 208,55 | 866,41 | 0,48629 | 0,49044 | 51.757.222,47 |
| 7 | 3.392,16 | 3,19 | 10.832,46 | 208,55 | 204,83 | 11.032,64 | 11.725,23 | 184,32 | 876,91 | 0,48918 | 0,49265 | 43.025.044,18 |
| 8 | 3.394,76 | 3,19 | 10.844,21 | 184,32 | 181,03 | 11.022,56 | 11.724,43 | 189,51 | 891,38 | 0,48961 | 0,49321 | 45.021.168,85 |
| 9 | 3.394,23 | 3,20 | 10.864,44 | 189,51 | 186,13 | 11.052,51 | 11.725,45 | 196,93 | 869,87 | 0,48906 | 0,49279 | 46.683.296,27 |
| 10 | 3.393,47 | 3,20 | 10.862,45 | 196,93 | 193,41 | 11.058,57 | 11.725,78 | 187,91 | 855,12 | 0,48888 | 0,49242 | 44.033.609,66 |

Tabela 14 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta com intervenção governamental via PEP com estoque inicial de 4.000 mil toneladas

| ano | Área (mil ha) | Produtividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponibilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final | Impor-tação | Preço (R$/kg) | Preço pago ao produtor (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.014,00 | 3,20 | 9.639,12 | 4.000,00 | 3.928,59 | 13.567,79 | 11.954,02 | 1636,18 | 22,42 | 0,36552 | 0,40091 | 360.520.559,05 |
| 2 | 3.234,50 | 3,20 | 10.363,14 | 1.636,18 | 1.606,97 | 11.975,32 | 11.809,68 | 565,54 | 399,90 | 0,44353 | 0,45503 | 128.347.023,61 |
| 3 | 3.352,83 | 3,21 | 10.753,48 | 565,54 | 555,44 | 11.308,02 | 11.750,01 | 285,98 | 727,97 | 0,47578 | 0,48136 | 66.993.543,05 |
| 4 | 3.383,67 | 3,20 | 10.821,23 | 285,98 | 280,87 | 11.136,00 | 11.735,82 | 221,43 | 821,24 | 0,48345 | 0,48764 | 51.489.285,48 |
| 5 | 3.390,80 | 3,21 | 10.877,94 | 221,43 | 217,47 | 11.095,21 | 11.730,60 | 211,21 | 846,59 | 0,48628 | 0,49029 | 50.035.134,12 |
| 6 | 3.391,90 | 3,20 | 10.865,97 | 211,21 | 207,44 | 11.075,31 | 11.730,84 | 209,48 | 865,02 | 0,48614 | 0,49031 | 51.983.859,86 |
| 7 | 3.392,06 | 3,19 | 10.832,13 | 209,48 | 205,74 | 11.033,23 | 11.725,31 | 184,49 | 876,57 | 0,48913 | 0,49261 | 43.061.021,51 |
| 8 | 3.394,75 | 3,19 | 10.844,15 | 184,49 | 181,19 | 11.022,67 | 11.724,44 | 189,53 | 891,30 | 0,48960 | 0,49321 | 45.026.444,73 |
| 9 | 3.394,23 | 3,20 | 10.864,43 | 189,53 | 186,15 | 11.052,52 | 11.725,45 | 196,94 | 869,86 | 0,48906 | 0,49279 | 46.685.669,55 |
| 10 | 3.393,47 | 3,20 | 10.862,44 | 196,94 | 193,42 | 11.058,57 | 11.725,78 | 187,91 | 855,12 | 0,48888 | 0,49242 | 44.033.609,66 |

Tabela 15 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta com intervenção governamental via AGF com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produ-tividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil. ton.) | Disponi-bilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Privado (milton.) | Estoque Governo (mil ton.) | Estoque final total (mil ton.) | Importação (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.414,62 | 3,20 | 10.920,37 | 0,00 | 0,00 | 10.920,44 | 11.710,02 | 1,84 | 151,70 | 153,54 | 941,28 | 0,49839 | 51.193.386,51 |
| 2 | 3.398,19 | 3,20 | 10.887,45 | 153,54 | 150,80 | 11.043,46 | 11.720,41 | 2,56 | 188,65 | 191,21 | 865,59 | 0,49317 | 61.405.164,55 |
| 3 | 3.394,04 | 3,21 | 10.885,95 | 191,21 | 187,80 | 11.072,84 | 11.722,02 | 2,22 | 207,23 | 209,46 | 856,42 | 0,49211 | 70.266.847,10 |
| 4 | 3.392,04 | 3,20 | 10.847,83 | 209,46 | 205,72 | 11.087,45 | 11.725,92 | 2,32 | 210,89 | 213,22 | 849,37 | 0,49006 | 76.541.119,34 |
| 5 | 3.391,68 | 3,21 | 10.880,79 | 213,22 | 209,41 | 11.090,00 | 11.724,59 | 2,43 | 214,53 | 216,96 | 849,12 | 0,49084 | 76.303.062,01 |
| 6 | 3.391,24 | 3,20 | 10.863,83 | 216,96 | 213,09 | 11.078,83 | 11.725,36 | 2,74 | 216,27 | 219,02 | 862,81 | 0,49059 | 79.113.960,18 |
| 7 | 3.390,99 | 3,19 | 10.828,70 | 219,02 | 215,11 | 11.039,16 | 11.720,69 | 2,44 | 191,28 | 193,72 | 872,81 | 0,49295 | 64.703.073,98 |
| 8 | 3.393,69 | 3,19 | 10.840,80 | 193,72 | 190,26 | 11.028,39 | 11.719,18 | 1,90 | 196,61 | 198,51 | 887,40 | 0,49347 | 71.842.064,30 |
| 9 | 3.393,22 | 3,20 | 10.861,19 | 198,51 | 194,97 | 11.058,10 | 11.720,04 | 2,03 | 204,55 | 206,59 | 866,49 | 0,49308 | 70.395.735,97 |
| 10 | 3.392,40 | 3,20 | 10.859,05 | 206,59 | 202,90 | 11.064,66 | 11.720,13 | 1,92 | 195,20 | 197,13 | 850,67 | 0,49270 | - |

Tabela 16 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta com intervenção governamental via AGF com estoque inicial de 4.000 mil toneladas

| ano | Área (mil ha) | Produ-tividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil. ton.) | Disponi-bilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Privado (milton.) | Estoque Governo (mil ton.) | Estoque final total (mil ton.) | Importação (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Custo da política (R$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.014,00 | 3,20 | 9.639,12 | 4.000,00 | 3.928,59 | 13.567,79 | 11.889,64 | 1,09 | 1.700,57 | 1.701,66 | 22,42 | 0,40091 | 566.218.851,63 |
| 2 | 3.227,90 | 3,20 | 10.342,01 | 1.701,66 | 1.671,28 | 12.018,50 | 11.793,69 | 2,20 | 612,84 | 615,03 | 388,02 | 0,45337 | 205.442.447,60 |
| 3 | 3.347,39 | 3,21 | 10.735,99 | 615,03 | 604,05 | 11.339,14 | 11.744,86 | 2,89 | 309,03 | 311,93 | 714,75 | 0,48013 | 105.267.978,21 |
| 4 | 3.380,80 | 3,20 | 10.812,14 | 311,93 | 306,36 | 11.152,40 | 11.731,50 | 2,36 | 233,88 | 236,24 | 812,98 | 0,48706 | 82.162.752,68 |
| 5 | 3.389,14 | 3,21 | 10.872,58 | 236,24 | 232,02 | 11.104,40 | 11.726,46 | 2,51 | 220,16 | 222,67 | 842,22 | 0,48987 | 75.877.269,62 |
| 6 | 3.390,62 | 3,20 | 10.861,84 | 222,67 | 218,70 | 11.082,44 | 11.726,61 | 2,88 | 217,61 | 220,50 | 861,78 | 0,48999 | 76.116.734,92 |
| 7 | 3.390,83 | 3,19 | 10.828,17 | 220,50 | 216,56 | 11.040,09 | 11.721,76 | 2,43 | 191,61 | 194,04 | 873,28 | 0,49236 | 65.580.484,49 |
| 8 | 3.393,66 | 3,19 | 10.840,69 | 194,04 | 190,57 | 11.028,59 | 11.720,14 | 1,90 | 196,65 | 198,55 | 888,19 | 0,49296 | 68.187.101,70 |
| 9 | 3.393,22 | 3,20 | 10.861,17 | 198,55 | 195,00 | 11.058,12 | 11.720,92 | 2,03 | 204,57 | 206,60 | 867,36 | 0,49261 | 70.394.940,85 |
| 10 | 3.392,40 | 3,20 | 10.859,05 | 206,60 | 202,91 | 11.064,67 | 11.721,01 | 1,93 | 195,20 | 197,13 | 851,55 | 0,49222 | - |

Tabela 17 - Resumo das médias de longo-prazo no décimo ano simulado das variáveis endógenas para todos os modelos com estoque inicial zero

| Modelo | Fechado | Aberto | Fechado PEP | Fechado AGF | Aberto PEP | Aberto AGF |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Área (mil ha) | 3.624,8 | 3.383,4 | 3.627,3 | 3.625,7 | 3.393,5 | 3.392,4 |
| Produção (mil ton.) | 11.602,7 | 10.830,3 | 11.610,6 | 11.605,7 | 10.862,5 | 10.859,1 |
| Estoque safra anterior (mil ton.) | 1.032,5 | 180,05 | 1.057,0 | 1.067,0 | 196,9 | 206,6 |
| Estoque inicial (mil ton.) | 1.014,1 | 176,83 | 1.038,1 | 1.047,9 | 193,4 | 202,90 |
| Disponibilidade (mil ton.) | 12.619,5 | 11.009,9 | 12.651,4 | 12.656,3 | 11.058,6 | 11.064,7 |
| Consumo (mil ton.) | 11.592,6 | 11.723,1 | 11.599,6 | 11.594,6 | 11.725,8 | 11.720,1 |
| Estoque privado (mil ton.) | - | - | - | 674,8 | - | 1,9 |
| Estoque do governo (mil ton.) | - | - | - | 387,0 | - | 195,2 |
| Estoque final total (mil ton.) | 1.026,9 | 171,4 | 1.051,8 | 1.061,7 | 187,9 | 197,1 |
| Importação (mil ton.) | | 884,7 | - | - | 855,1 | 850,7 |
| Preço (R$/kg) | 0,56 | 0,49 | 0,56 | 0,56 | 0,49 | 0,49 |
| Preço pago ao produtor (R$/kg) | - | - | 0,56 | - | 0,49 | - |
| Custo da política (milhões de R$)* | - | - | 42,2 | 95,3 | 44,0 | 70,4 |

* o custo da política de AGF para o mercado fechado e aberto refere-se ao nono ano simulado

A maior média de longo prazo de área plantada é a do modelo fechado com PEP, em seguida vem o modelo fechado com AGF, o modelo básico, o modelo aberto com PEP, o modelo aberto com AGF e finalmente o modelo aberto básico. Portanto o PEP demonstrou-se um instrumento mais eficiente do ponto de vista do aumento do incentivo ao aumento da produção.

Quando a economia é fechada a quantidade total de produto produzido deve ser consumido internamente. Com o incentivo ao plantio advindo do PEP e do AGF, a área plantada aumenta e conseqüentemente aumenta também a produção. Com esta maior produção existe também um aumento na disponibilidade interna de produto, redução nos níveis internos de preço de mercado e aumento do consumo, o que acaba por permitir uma maior formação de estoques. Esta maior produção não é absorvida pelo mercado ao mesmo nível de preço de um mercado sem intervenção, o que, em última análise, acaba por reduzir o preço recebido pelo produtor na presença de ambas as políticas.

Através das simulações pode-se perceber que as políticas de AGF e PEP para mercado aberto permitem um aumento de preço interno, um aumento na área plantada e na produção interna e uma pequena redução nas importações.

### 2.4.3 Convergência

Um dos pressupostos do modelo é que as médias de longo-prazo tendem a convergir para um determinado patamar independente da situação inicial. Todas as variáveis endógenas de todos os modelos calculados convergem para um determinado patamar. O tempo de convergência varia um pouco de acordo com a variável analisada, mas de forma geral as convergências para os modelos de mercado fechado levam menos períodos do que as de mercado aberto, levando em torno de quatro períodos para convergir. Para os modelos com intervenção, quando comparados aos modelos sem intervenção do governo, a convergência mostra-se também um pouco mais lenta. Estas observações podem ser avaliadas a partir dos Gráficos 22 a 33 a seguir.

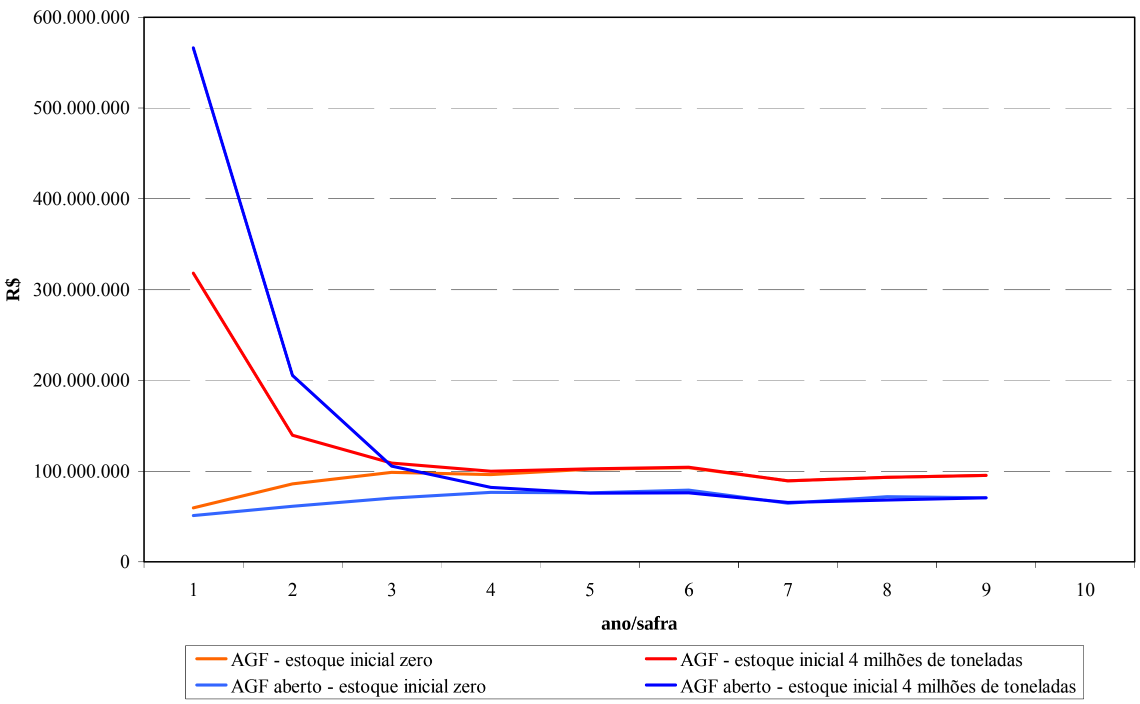



Figura 22 – Custos do governo com a manutenção dos estoques públicos para os modelos de economia fechada com intervenção via AGF e aberta com intervenção via AGF – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

A convergência dos prejuízos do governo com a formação de estoques leva cerca de cinco períodos, enquanto que a convergência para o mercado fechado leva cerca de quatro períodos, como pode ser visto no Gráfico 22. De forma geral o resultado obtido com a média de longo-prazo para o mercado fechado é de um custo maior para o governo quando comparado ao caso de mercado aberto.

É importante salientar que estes prejuízos do governo aqui considerados, para os modelos com intervenção do governo via AGF, levam em conta, apenas, a diferença entre o gasto do governo com a aquisição do produto e a receita obtida posteriormente com a venda, os juros sobre o capital de giro do governo, as perdas físicas de armazenagem e o custo de armazenagem do produto. Portanto, estes valores consistem apenas em um indicador para os custos da operação, uma vez que, uma grande quantidade de custos inerentes a este processo não estão contemplados, tais como os custos operacionais, o juro sobre o capital fixo e a manutenção dos armazéns, das outras edificações e dos equipamentos. Desta forma os custos totais da operação de AGF tendem a ser ainda maiores que o apresentado na Figura 22 e nas Tabelas 11, 12. 15 e 16.

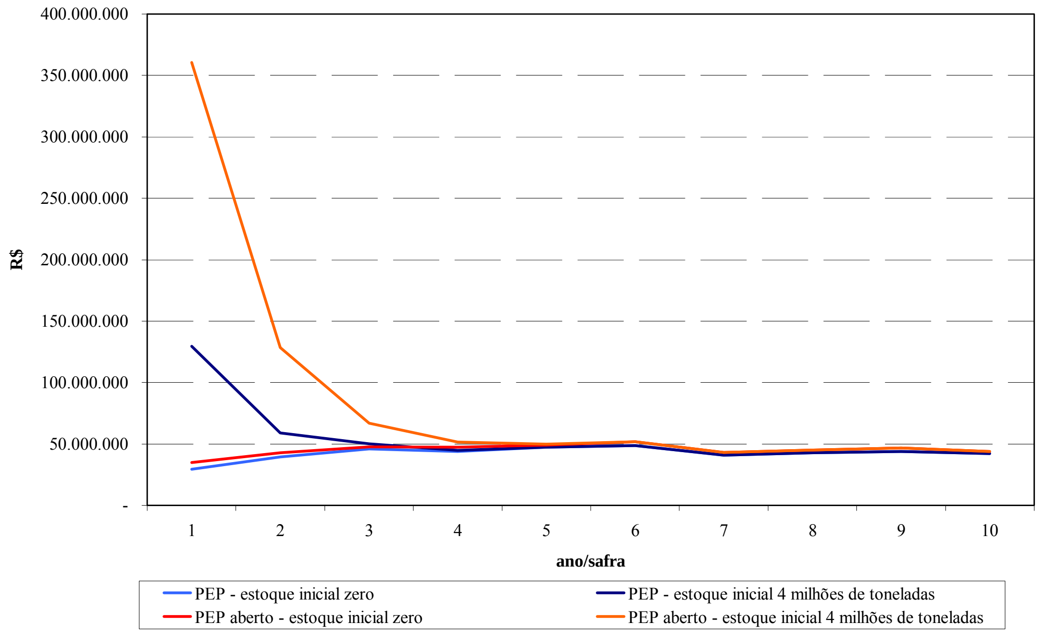



Figura 23 – Custos da política para os modelos de economia fechada com intervenção via PEP e aberta com intervenção via PEP – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

Para os custo da política com PEP a convergência também é mais lenta para o mercado aberto, levando cerca de cinco períodos. Para o mercado fechado a convergência ocorre em cerca de três períodos. Neste caso os gastos realizados pelo governo são muito próximos para o mercado aberto e fechado, com cerca de 5% a mais para o mercado aberto. Nas situações extremas esta diferença, como pode ser observado no Gráfico 23 pode ser bem maior.

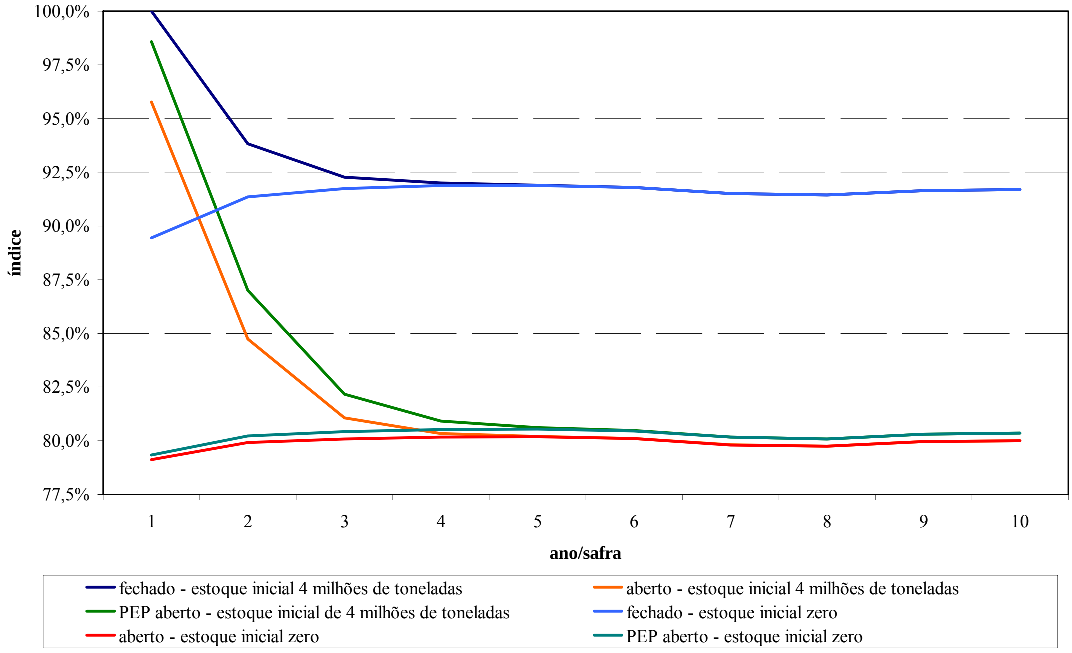



Figura 24 – Índice de disponibilidade interna total média de longo prazo de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com PEP – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

Novamente, como pode ser observado no Gráfico 24 a convergência para o mercado aberto é mais rápida, levando quatro períodos para ocorrer. A convergência para os mercados abertos sem intervenção e com PEP, demora um pouco mais, cerca de cinco períodos.

Pode-se perceber, através do Gráfico 24, que a disponibilidade interna, excluindo-se as exportações, é muito maior para o mercado fechado, e a disponibilidade para o mercado aberto com PEP é maior que para o mercado aberto sem intervenção. Esta diferença entre as disponibilidades internas é compensada por importações, o que, torna a disponibilidade total dos modelos muito próxima.

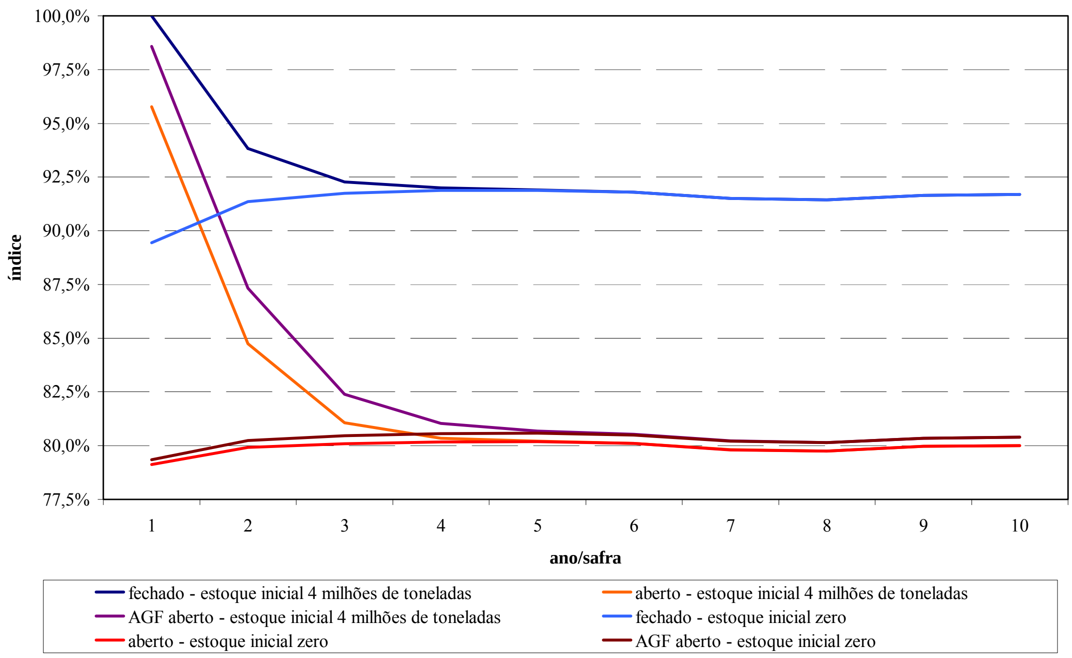



Figura 25 – Índice de disponibilidade interna total média de longo prazo de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com AGF – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

A exemplo do ocorrido no modelo aberto com PEP, como pode ser observado no Gráfico 25, a convergência para os mercados abertos sem intervenção e com PEP leva cerca de cinco períodos e com comportamento bastante semelhante.

Através do Gráfico 25, pode-se verificar que a disponibilidade para o mercado aberto com AGF é maior que para o mercado aberto sem intervenção. Esta diferença entre as disponibilidades internas, a exemplo do modelo aberto com PEP, é compensada por importações, o que torna a disponibilidade total dos modelos muito próxima.

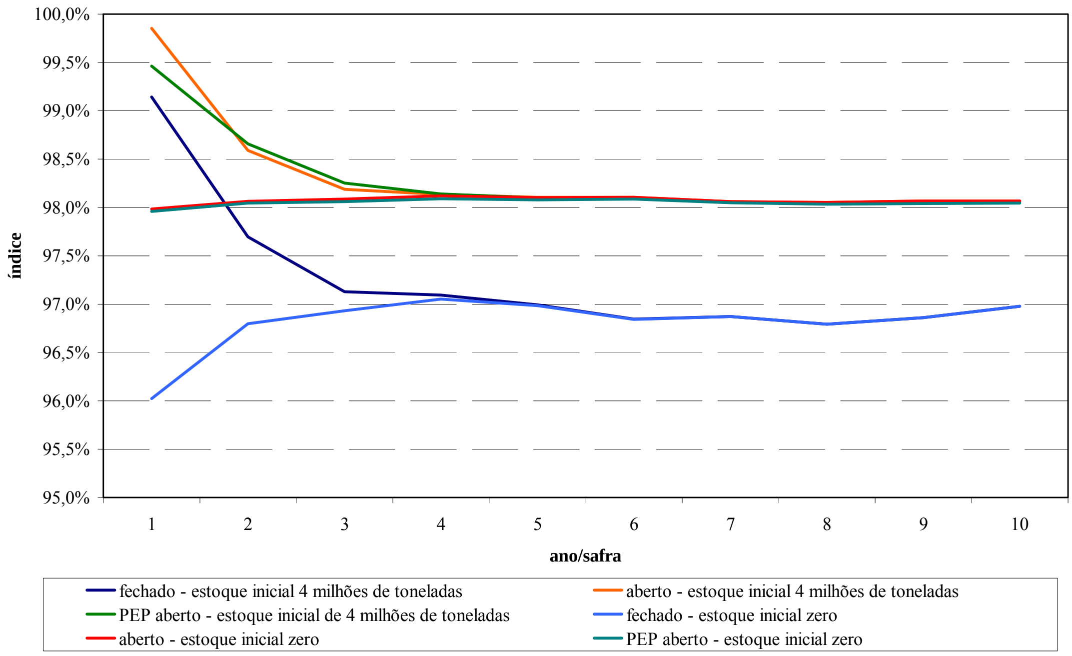



Figura 26 – Índice de consumo total médio de longo prazo de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com PEP – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

Como pode ser avaliado no Gráfico 26, todas as médias de longo-prazo apresentadas, modelo fechado, aberto e aberto com PEP, encontram os valores de convergência no quarto ano safra simulado.

O consumo médio de longo-prazo possui uma variação bastante pequena. O menor valor médio simulado, para mercado fechado sem intervenção, corresponde a 96% do maior. Isso demonstra a pouca oscilação do consumo ao longo do tempo, quando comparada a outras variáveis e a pouca sensibilidade frente uma mudança nos preços de mercado desta variável.

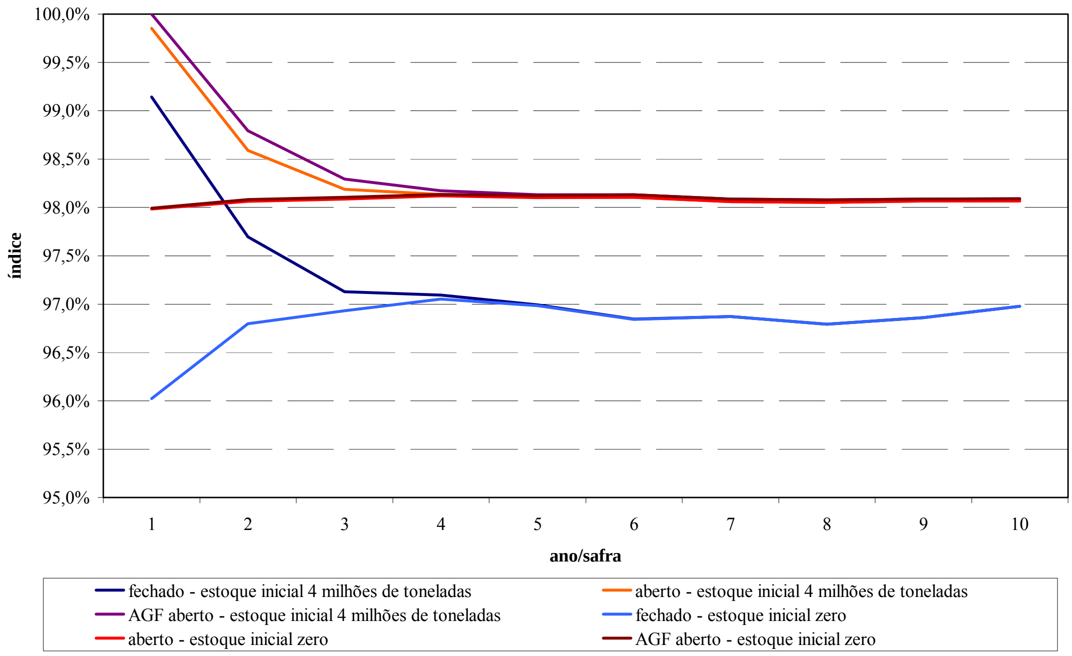



Figura 27 – Índice de consumo total médio de longo prazo de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com AGF – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

Através do Gráfico 27 pode-se verificar que as médias de longo-prazo apresentadas, modelo fechado, aberto e aberto com AGF, encontram o valor de convergência no quarto ano safra simulado.

O consumo médio de longo-prazo possui uma variação bastante pequena. Novamente, a oscilação do consumo ao longo do tempo é pequena, quando comparada a outras variáveis e existe pouca sensibilidade frente uma mudança nos preços de mercado desta variável.

A maior diferença entre o consumo do mercado aberto com PEP e com AGF é que o mercado com PEP tende a ter menor oscilação. A oscilação de consumo com PEP de fato é a menor dentre todos os modelos propostos.

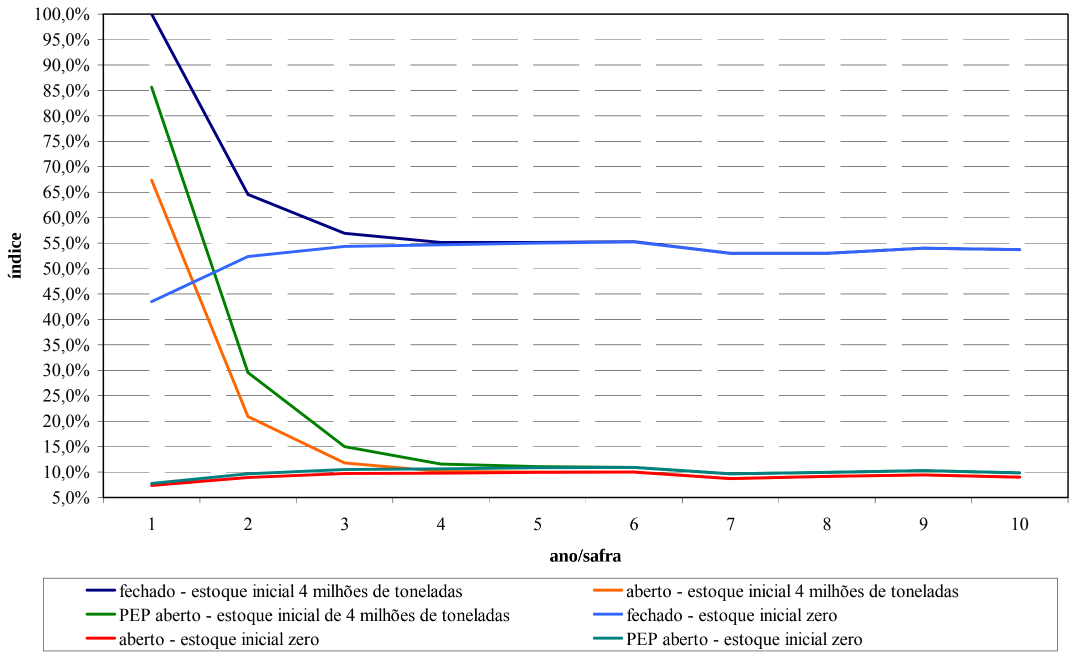
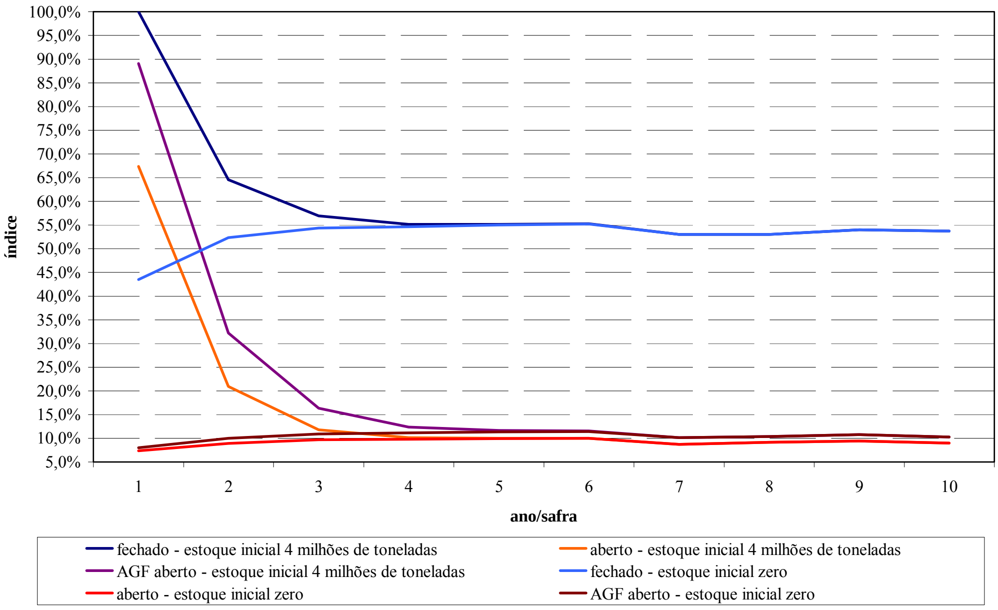



Figura 28 – Índice de estoque final total médio de longo prazo de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com PEP – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

A convergência de longo-prazo da variável de estoque final total médio levou cerca de quatro períodos para os modelos de mercado fechado e aberto sem intervenção e cerca de cinco para o mercado aberto com intervenção via PEP.

Como se pode avaliar na Figura 28 o estoque de arroz tende a diminuir bastante quando se abre o mercado às importações. Na presença de PEP os estoques também tendem a aumentar em relação aos outros modelos apresentados na Figura 28. Na situação de um estoque inicial alto (4.000 mil toneladas) a absorção dos excedentes é mais lenta e o índice tende a ser bem mais alto no início do período de 10 safras que para o caso de mercado aberto sem intervenção.



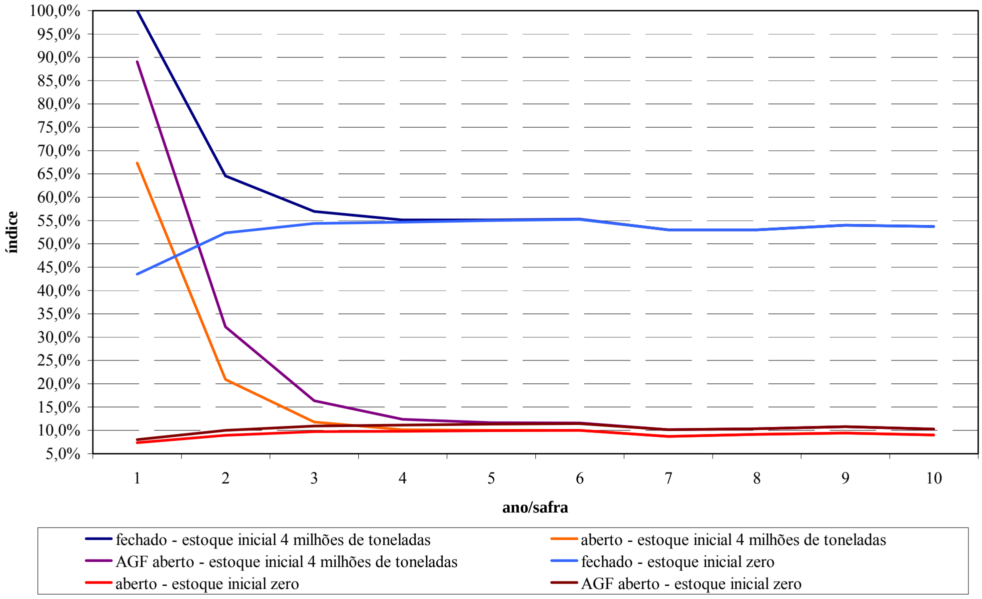




Figura 29 – Índice de estoque final total médio de longo prazo de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com AGF – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

A convergência de longo-prazo da variável de estoque final total médio para o caso de modelo aberto com AGF possui comportamento bastante semelhante aos casos apresentados anteriormente.

Na presença de AGF, os estoques também tendem a ser maiores em relação aos outros modelos apresentados, inclusive o de mercado aberto com PEP. Na situação de um estoque inicial alto (4.000 mil toneladas), como no caso do que foi mostrado para o modelo aberto com PEP, a absorção dos excedentes é mais lenta e o índice tende a ser bem mais alto no início do período que para o caso de mercado aberto sem intervenção.

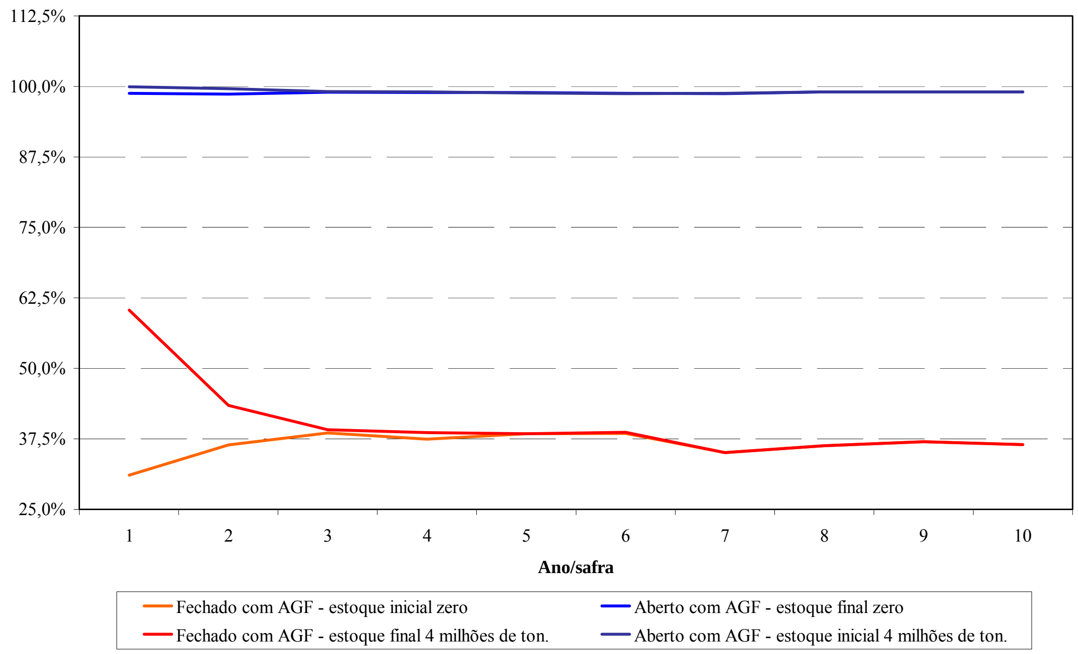



Figura 30 - Porcentagem de estoque do governo frente ao estoque total média de longo prazo de arroz, para os modelos fechado com intervenção via AGF e aberto com AGF – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

Como pode ser visto na Figura 30 a participação dos estoques do governo nos estoques totais no modelo aberto com intervenção via AGF converge para 99%, enquanto no modelo fechado com intervenção via AGF este valor converge para cerca de 37%.

A participação do estoque do governo no estoque total em situação de mercado aberto é extremamente maior que no caso de mercado fechado. Portanto, com a situação de mercado aberto, existe uma saída do setor privado da atividade de armazenamento, deixando, desta forma, todos os riscos inerentes à atividade para o governo.

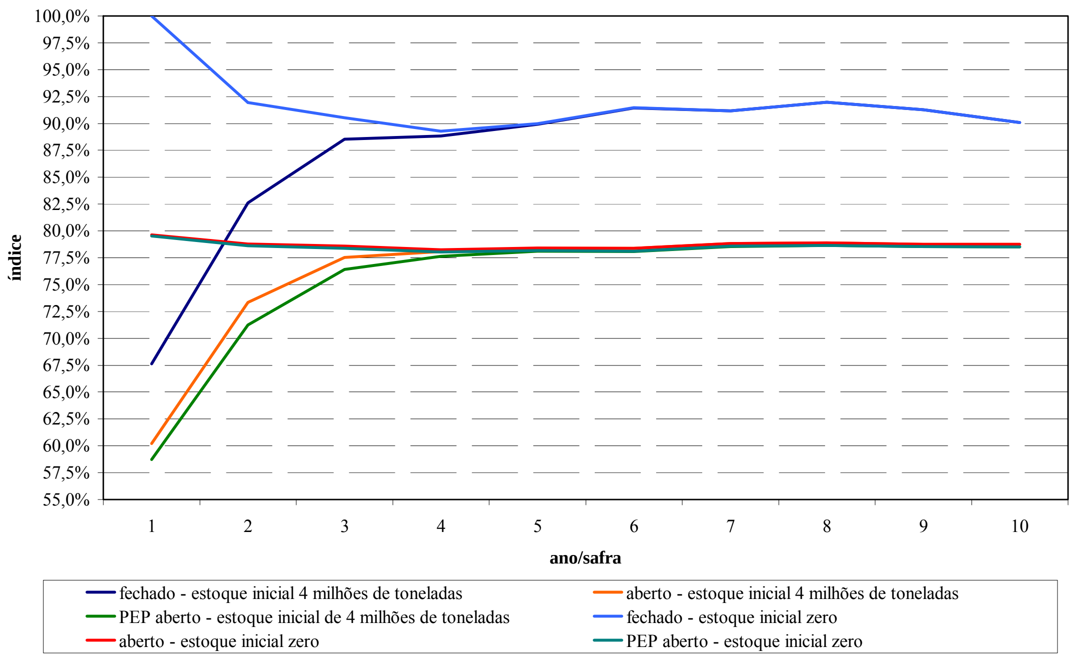



Figura 31 – Índice de preço médio de longo prazo final total de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com PEP – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

A convergência dos preços para a média de longo-prazo tanto no mercado aberto, quanto no mercado fechado com PEP ocorre para cerca de cinco anos, já para o mercado aberto sem intervenção a convergência para ocorrer já a partir do quarto ano.

A convergência para o nível de preços internos de mercado com mercado aberto, como pode ser visto na Figura 31, é bem menor que o nível de preços para o mercado fechado. O preço médio de longo-prazo de mercado para o modelo com PEP é menor que o preço de mercado sem intervenção, como pode ser visto na Tabela 31.

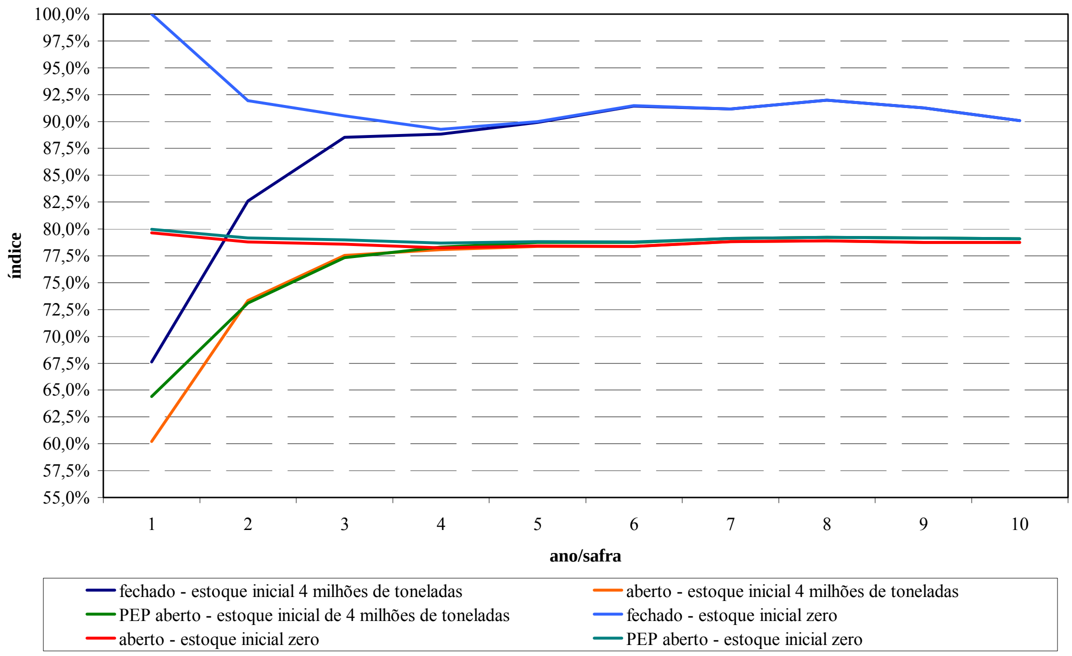



Figura 32 – Índice de preço médio de longo prazo pago ao produtor final total de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com PEP – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

A convergência do preço médio de longo-prazo de arroz pago ao produtor ocorre no quinto ano safra simulado.

O preço médio de longo-prazo pago ao produtor para o modelo com PEP é menor que o preço de mercado sem intervenção (neste caso igual ao preço médio de longo-prazo pago ao produtor para os modelos aberto sem intervenção e fechado sem intervenção), como pode ser visto no Gráfico 32.

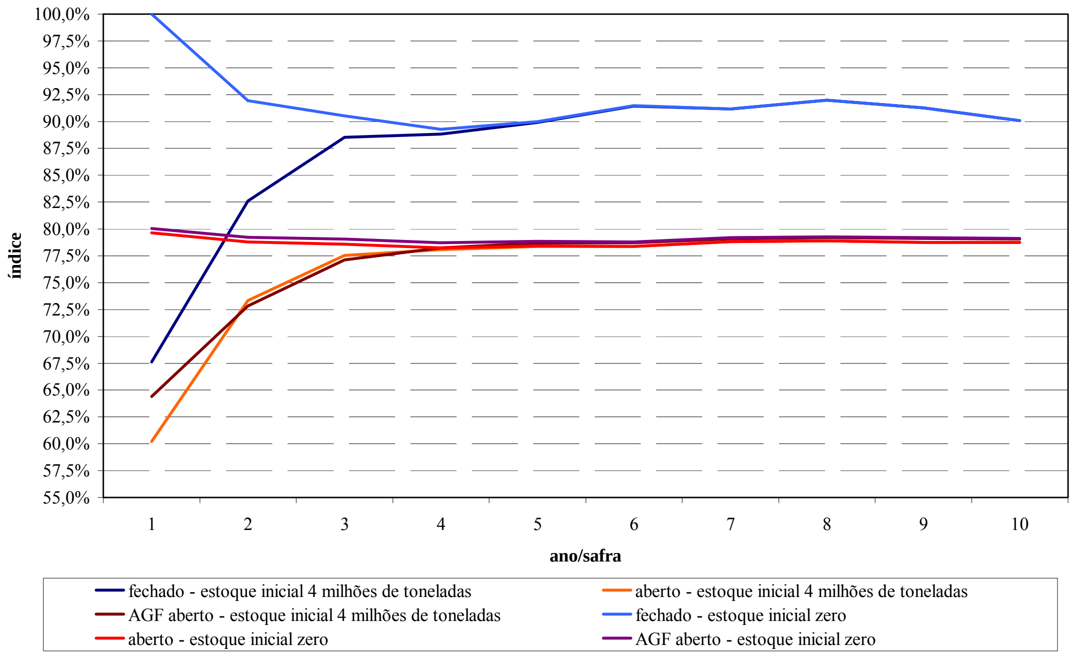



Figura 33 – Índice de preço médio de longo prazo final total de arroz, para os modelos fechado sem intervenção, aberto sem intervenção e aberto com AGF – estoques iniciais zero e 4 milhões de toneladas

O padrão de convergência dos preços médios de longo-prazo de mercado para o modelo de economia aberta com intervenção via AGF é muito semelhante ao preço pago ao produtor médio de longo-prazo para o modelo de economia aberta com intervenção via PEP.

O comportamento dos preços médios de longo-prazo de mercado para o modelo de economia aberta com intervenção via AGF é muito semelhante ao encontrado para o preço pago ao produtor médio de longo-prazo para o modelo de economia aberta com intervenção via PEP, como pode ser visto comparando-se as Figuras 32 e 33.

# 3 CONCLUSÕES

O intuito deste estudo foi analisar o armazenamento de arroz no Brasil, utilizando a abordagem de programação dinâmica com expectativas racionais e procurando levar em conta a existência de mercado aberto e a as políticas de AGF e PEP adotadas pelo governo brasileiro para estímulo à produção. Visando atingir este objetivo foram propostos seis modelos dinâmicos de expectativas racionais. Para desenvolver os modelos descritos neste trabalho fez-se necessário adaptar aqueles existentes na literatura para o mercado de arroz no Brasil e ainda fazer algumas propostas originais.

Os modelos desenvolvidos e estimados maximizam a soma a valor presente do bem-estar intemporal, portanto, todos os modelos calculados encontram-se no ótimo do bem-estar social levando-se em conta os parâmetros dos modelos, as restrições impostas aos mesmos e, ainda, o caráter dinâmico imposto pela análise da atividade de armazenagem.

Os modelos desenvolvidos para este estudo podem ser adaptados a uma grande quantidade de mercados de produtos agrícolas armazenáveis e, em princípio, podem abranger políticas de preços de qualquer natureza vinculadas a estes mercados, bem como, avaliar o impacto no equilíbrio de mercado decorrentes destas políticas.

A abertura do mercado e a forma de intervenção do governo exercem uma grande influência sobre o equilíbrio dinâmico de mercado. Com o mercado aberto, o país pequeno do ponto de vista do comércio global internacional, fica dependente da formação de estoques internacionais e também das compras em mercados externos, para amortecer os choques de oferta e demanda internos, que nos mercados fechados são unicamente atendidos pelos estoques formados no mercado interno.

O PEP é um subsídio de preço direto ao produtor. Desta forma sua influência se dá sobre a área plantada, que será maior quanto maior for o preço mínimo. Quanto maior o excedente de produto no mercado, maior a quantidade de produto demandante de recursos de PEP para escoamento.

Os preços esperados de mercado na situação de mercado aberto com intervenção via PEP foram ligeiramente inferiores ao preço de mercado sem intervenção, porém o preço recebido pelo agricultor foi ligeiramente maior. Isto significa que parte dos recursos da PEP é apropriada pelo produtor e parte pela indústria. Em termos de média de longo-prazo os resultados não são muito expressivos para as variáveis, embora tenha havido um pequeno incentivo à produção na forma de um aumento da área plantada e um perceptível aumento da importação e estoques.

O grande resultado obtido com a utilização de PEP, em termos de política de preços ao produtor, fica a cargo da garantia de renda mínima em casos de super safra ou de grande disponibilidade interna. Isto significa dizer que existe uma grande diminuição do risco inerente à atividade quanto ao preço a ser obtido com o produto, ou seja, apesar de não ter havido grande diferença em termos de média, existe uma diferença maior em termos de desvio. De qualquer forma esta diferença não foi suficiente para elevar a área plantada aos níveis esperados para uma política desta natureza.

O preço para o comprador fica abaixo, no modelo aberto com PEP, do que no modelo sem intervenção do governo. A parcela do prêmio apropriada pela indústria permite a prática de preços mais baixos no mercado, o que em última análise também diminuiria, em menor proporção, o preço ao consumidor final.

No caso da AGF existe uma aquisição de produto para formação de estoques do governo a um preço maior que o preço de mercado. Estes estoques do governo têm a função de limitar a oferta em épocas de excesso, o que acaba por elevar o preço médio de mercado na safra e diminuir o preço esperado para o próximo ano devido ao aumento nos níveis de estoque. Desta forma, a prática de AGF aumenta a quantidade de estoques totais quando se compara a qualquer outro modelo analisado para mercado aberto ou fechado, o que acarreta em uma queda no nível de preço interno de mercado esperado. Esta situação agrava-se no caso de mercado aberto devido ao desinteresse da demanda pelo produto nacional frente à possibilidade de importação.

Os resultados do modelo aberto com AGF demonstram que os preços para o comprador ficam acima do encontrado para o modelo com intervenção do governo via PEP. Com o aumento dos preços internos a indústria paga mais pelo produto o que em última análise também aumentaria, em menor proporção, o preço do arroz ao consumidor final.

Quando se comparam os resultados para o mercado aberto e fechado com AGF pode-se avaliar que, no caso de mercado aberto, grande parte do estoque formado passa a ser responsabilidade do governo. Isto significa que em um mercado aberto o setor privado diminui bastante a formação de estoques passando esta atividade para o governo. Este fato ocorre devido ao menor preço praticado no mercado interno quando se considera a possibilidade de importação, o que caba por obrigar o governo a formar estoques e intervir no mercado constantemente para que se mantenha um preço de mercado acima ou igual ao mínimo. Outro fato é o menor interesse, do setor privado em formar estoques quando se considera o mercado aberto. Isto ocorre, pois em períodos de escassez interna importa-se produto ao invés de utilizar os estoques formados pelo setor privado, mesmo correndo o risco de um aumento no preço de importação.

Embora não levem em conta todos os gastos do governo necessários para a formação de estoques públicos, os custos encontrados com as simulações de longo-prazo para a política de AGF mostraram-se significativamente superiores aos custos da simulação de longo-prazo para a política de PEP, tanto para o caso de mercado aberto quanto para o caso de mercado fechado.

Um pressuposto deste trabalho é de que o governo sempre dispõe da quantidade de recursos necessária para realizar as políticas no ponto ótimo. Uma das muitas alternativas possíveis a este modelo permitiria impor ao governo uma restrição quanto à quantidade de recursos que poderiam ser utilizados nas políticas. Esta nova possibilidade permitiria uma análise comparativa dos efeitos no equilíbrio de mercado das duas políticas sujeitas a mesma restrição orçamentária e também a análise da efetiva eficiência de uma intervenção governamental sem a quantidade necessária de recursos públicos.

Outro ponto importante que não foi destacado anteriormente é a grande quantidade de recurso necessária para o governo utilizar o instrumento de AGF de maneira eficiente. O montante de dinheiro necessário para aquisição do produto seria extremamente grande, o que inviabilizaria a política no seu ótimo do ponto de vista prático.

O preço mínimo quando deparado com a função de oferta de área é baixo, uma vez que, em anos de alto custo de produção pode não remunerar o custo variável de alguns produtores que deixam de produzir arroz. Isto significa que o atual nível de preços mínimos inviabiliza a atividade de uma parcela de produtores que produzem arroz a um alto custo variável. Portanto, o nível de preço praticado pelo governo nos últimos anos não é compatível com os custos da atividade de parte dos produtores, principalmente, em anos em que o custo de produção do arroz se eleva como o que ocorre em casos de quebra de safra. Neste caso a produção total de arroz brasileira mantém-se, ainda, em níveis razoáveis devido à inelasticidade da curva de oferta de área por parte dos produtores que sofrem com a falta de atividades alternativas à produção de arroz e também devido a uma parcela de produtores que possuem baixo custo variável e conseqüente competitividade, mesmo a nível internacional e de baixos preços mínimos. Levando-se em contas estes fatores conclui-se que o preço mínimo não tem sido suficientemente elevado a ponto de promover mudanças significativas no equilíbrio de mercado interno.

Paralelamente aos modelos apresentados anteriormente, estimaram-se os modelos de PEP e AGF propostos utilizando-se como parâmetro o nível de preço mínimo incluindo-se anos anteriores ao plano real, utilizando-se a média do período entre as safras 1986/87 e 2003/04, quando o preço mínimo foi de R$ 518,16/tonelada. Mantiveram-se todos os demais parâmetros do modelo constantes a fim de comparar os resultados. Estes resultados encontram-se no anexo I. Comparando-se os modelos com os diferentes preços mínimos pode-se avaliar que os preços mínimos mais elevados mudam significativamente o equilíbrio de mercado, principalmente quanto aos preços recebidos pelos produtores.

Um preço mínimo superior à paridade de importação causaria um fenômeno em que grande parte do produto proveniente de países que abastecem o nosso mercado acabaria por ser estocado no Brasil via estoques públicos e, desta forma, acabaria por inviabilizar a política de estoques brasileira.

Seria possível, neste trabalho, ter estimado uma situação para mercado fechado e aberto com políticas simultâneas (no mesmo ano-safra) de AGF e PEP. Porém, existiriam algumas dificuldades neste processo. A principal delas é o fato de se instalar um diferencial de preços no mercado quando ocorre intervenção via PEP. Para que o governo pudesse, segundo o modelo, implementar uma política de AGF seria necessário pagar um preço ao produtor acima do de mercado. No modelo proposto no trabalho, o governo intervém no mercado até que haja convergência do preço pago pelo governo e do preço de mercado, uma vez que, o governo restringe a disponibilidade até que haja, apenas, a quantidade de produto no mercado que corresponda ao preço mínimo em termos de demanda. No caso de um modelo com políticas mistas (AGF e PEP) esta convergência não ocorreria. Outra dificuldade seria definir qual a quantidade de produto que o governo deveria adquirir via AGF e qual quantidade deveria receber subsídio via PEP. Embora existam estas dificuldades, a partir do momento que se define uma proporção entre a quantidade que deve ser adquirida via PEP e a quantidade a ser negociada via PEP torna-se possível calcular um modelo com políticas conjuntas utilizando a mesma metodologia proposta neste trabalho. O algoritmo a ser encontrado não apresentaria uma diferença substancial ao que foi descrito anteriormente para AGF e PEP separadamente, sendo necessária apenas a agregação e a compatibilização dos mesmos. Os resultados a serem obtidos com este novo algoritmo encontrar-se-iam em algum ponto entre os valores obtidos para as duas políticas isoladamente.

Os próximos passos para o estudo de mercados com produtos anuais armazenáveis no Brasil com modelos desta natureza levam em conta a existência de mercados regionais, a subdivisão do ano agrícola em safra e entressafra ou períodos menores para que se possam avaliar os estoques entre anos e intra-anos e, ainda, leva em conta os diferentes padrões de qualidade dos produtos agrícolas com seus diferentes preços, juntamente com as perdas qualitativas decorrentes do processo de armazenamento.

## REFERÊNCIAS


ALMEIDA, P.N.A. **Fontes de crescimento e sistema produtivo da orizicultura no Mato Grosso**. 2003. 230 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BARROS, G.S.A.C. **Economia da comercialização agrícola**. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br>. Acesso em: 1 maio 2005.

BARROS, G.S.A.C.; GUIMARÃES, V.A. Análise da eficácia da política de preços para arroz e milho por meio de um modelo econômico de expectativas racionais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 113-133, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 31 abr. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores agropecuários**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 maio 2005a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 maio 2005b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Instrumentos da Política**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 maio 2005c.

DOSSA, D. **Custos de produção de arroz irrigado**. Colombo: EMBRAPA Floresta, 2001. 132p.

EMPRAPA. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/>. Acesso em: 10 jun. 2005.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Foreign agriculture service**. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/fas>. Acesso em: 11 July 2005.

FERREIRA, C.M.; SOUZA, I.S.F.; VILAR, P.M. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica de produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2005. 118 p.

GARDNER, B.; LÓPEZ, R. Interest-rate subsidies in price stabilization. **American Journal of Agricultural Economics**, Nashville, v. 78, n. 3, p. 508-516, 1996.

GODINHO, V.P.C.; UTUMI, M.M.; OLIVEIRA, S.J.M. **Estimativa de custos de produção de arroz mecanizado em Rondônia - safra 2001/2002**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, n. 192, p. 1-3, jul. 2001.

GUIMARÃES, V.A. **Análise de armazenamento de milho no Brasil com um modelo dinâmico de expectativas racionais**. 2001. 136 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GUSTAFSON, R.L. **Carryover levels for grains**: a method for determining amounts that are optimal under specified conditions. Washington: USDA, 1958. 92 p. (Technical Bulletin, 1178).

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. Rio de janeiro: Editora Campus/ São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1988. 805 p.

HOFFMANN, R. Elasticidades-renda das despesas com alimentos em regiões metropolitanas do Brasil em 1995/96. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 30 n. 2 p. 12-24, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de orçamentos familiares**. Disponível em: <http://ibge.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2005a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de dados agregados**. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2005b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <http://ibge.gov.br>. 10 maio 2005c.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Disponível em: <http://ipeadata.gov.br>. Acesso em: 10 maio 2005.

KENNEDY, J.O.S. **Dynamic programming**: aplications and natural resources. London: Elsevier Applied Science, 1986. 341 p.

LOWRY, M.; GLAUBER, J.; MIRANDA, M.J.; HELMBERGER, P.G. Pricing storage of field crops: a quarterly model applied to soybeans. **American Journal of Agricultural Economics**, Nashville, v. 69, n. 4, p. 740-749, Nov. 1987.

MARTINS, E. **Variações no consumo de alimentos no Brasil de 1974/75 a 1987/88**. 1988. 117 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

MELO-FILHO, G.A; LEMES, M.M.R. **Estimativa do custo de produção de arroz de sequeiro, safra 2000/2001, em Mato Grosso**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa, set. 2000. 20p. (Comunicado Técnico, 20)

MELO-FILHO, G.A; RICHETTI, A. **Estimativa do custo de produção de arroz de sequeiro, safra 2001/2002, em Mato Grosso**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa, dec. 2001. 52p. (Comunicado Técnico, 41)

MELO-FILHO, G.A; RICHETTI, A. **Estimativa do custo de produção de arroz de sequeiro, safra 2002/2003, em Mato Grosso**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa, out. 2002. 53p. (Comunicado Técnico, 59)

MICHAELIDES, A.; SERENA, N. Estimating the rational expectations model of speculative storage: a Monte Carlo comparison of three simulation estimators. **Journal of Econometrics**, Boston, v.1, n. 96, p. 231-266, 2000.

MIRANDA, M.J.; HELMBERGER, P.G. The effects of commodity price stabilization programs, **American Economic Review**. Chicago, v. 78, n. 1, p. 46–58, Mar. 1988.

MIRANDA, M.J.; GLAUBER, J.W. Estimation of dinamyc nonlinear rational expectations models for primary commodity markets with private and government stockholding. **Review of Economics and Statistics**, v. 75, n. 3, p. 463-470, Aug. 1993.

MIRANDA, M.J.; FACKLER, P.L. **Applied computacional economics and finance**. Disponível em: <http://www4.ncsu.edu/~pfackler/compecon/conpecom.pdf>. Acesso em: 12 May 2001.

MUTH, J.F. Rational expectations and the theory of price movements. **Econometrica**, New York, v. 29, n. 2, p. 315-335, Apr. 1961.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Preços**. Disponível em: < http://www.pr.gov.br/seab/ > . Acesso em: 25 mar. 2005.

SAMUELSON, P.A. Stochastic speculative price. Proceedings of the National Academy of Sciences. **Applied Mathematical Sciences**, Washington, v. 68, n. 2, p. 335-337, 1971.

SILBERBERG, E. **The structure of economics**: a mathematical analysis. 3rd ed. New York: Mcgraw-Hill, 2000. 688 p.

WRIGHT, B.D.; WILLIAMS, J.C. The economic role of commodity storage. **The Economic Journal**, London, v. 92, n. 367, p. 596-614, Sept.1982.

WRIGHT, B.D.; WILLIAMS, J.C. The welfare effects of the introduction of storage. **Quarterly Journal of Economics**, New York, v. 99, n. 1, p. 169-192, Feb.1984.

WRIGHT, B.D.; WILLIAMS, J.C. The incidence of market-stabilising price support schemes. **The Economic Journal**. London, v. 98, n. 98, p. 1183-1198, Dec.1988a.

WRIGHT, B.D.; WILLIAMS, J.C. Measurement of consumer gains from market stabilization. **American Journal of Agricultural Economics**, Menasha, v. 70, n. 3, p. 616-627, Dec. 1988b.

WRIGHT, B.D.; WILLIAMS, J.C. **Storage and commodity markets**. New York: Cambridge University Press, 1991. 502 p.

WILLIG, B.D. Consumer's surplus without apology. **American Economic Review**, Nashville, v. 66, n. 4, p. 589-597, 1976.

# ANEXO

ANEXO A – Média de longo-prazo das variáveis endógenas

Tabela 18 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta com intervenção governamental via PEP com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produ-tividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil ton.) | Disponi-bilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Final | Importação (mil ton.) | Preço (R$/kg) | Preço pago ao produtor (R$/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.553,41 | 3,20 | 11.364,23 | 0,00 | 0,00 | 11.364,30 | 11.726,79 | 304,67 | 667,16 | 0,48833 | 0,52656 |
| 2 | 3.546,71 | 3,20 | 11.363,19 | 304,67 | 299,23 | 11.667,63 | 11.746,42 | 467,77 | 546,56 | 0,47773 | 0,52529 |
| 3 | 3.543,68 | 3,21 | 11.366,00 | 467,77 | 459,42 | 11.824,52 | 11.753,59 | 575,83 | 504,91 | 0,47385 | 0,52487 |
| 4 | 3.542,01 | 3,20 | 11.327,13 | 575,83 | 565,55 | 11.926,59 | 11.758,52 | 642,35 | 474,29 | 0,47118 | 0,52457 |
| 5 | 3.540,87 | 3,21 | 11.359,51 | 642,35 | 630,89 | 11.990,20 | 11.760,12 | 693,44 | 463,36 | 0,47032 | 0,52444 |
| 6 | 3.540,35 | 3,20 | 11.341,84 | 693,44 | 681,06 | 12.024,81 | 11.764,79 | 737,45 | 477,43 | 0,46779 | 0,52429 |
| 7 | 3.539,73 | 3,19 | 11.303,97 | 737,45 | 724,29 | 12.023,61 | 11.761,83 | 729,75 | 467,96 | 0,46940 | 0,52443 |
| 8 | 3.539,95 | 3,19 | 11.308,27 | 729,75 | 716,73 | 12.022,32 | 11.763,70 | 728,76 | 470,13 | 0,46839 | 0,52423 |
| 9 | 3.540,00 | 3,20 | 11.331,37 | 728,76 | 715,75 | 12.049,06 | 11.762,29 | 748,56 | 461,79 | 0,46915 | 0,52436 |
| 10 | 3.539,75 | 3,20 | 11.330,48 | 748,56 | 735,20 | 12.068,38 | 11.763,56 | 746,23 | 441,41 | 0,46846 | 0,52422 |

Tabela 19 - Média de longo-prazo das variáveis endógenas – modelo de economia aberta com intervenção governamental via AGF com estoque inicial de zero

| ano | Área (mil ha) | Produ-tividade (ton./ha) | Produção (mil ton.) | Estoque safra anterior (mil ton.) | Estoque Inicial (mil. ton.) | Disponi-bilidade (mil ton.) | Consumo (mil ton.) | Estoque Privado (milton.) | Estoque Governo (mil ton.) | Estoque final total (mil ton.) | Importação (mil ton.) | Preço (R$/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.553,41 | 3,20 | 11364,23 | 0,00 | 0,00 | 11.364,30 | 11655,25 | 0,00 | 375,40 | 375,40 | 666,35 | 0,52700 |
| 2 | 3.545,27 | 3,20 | 11358,57 | 375,40 | 368,70 | 11.732,48 | 11658,33 | 0,00 | 598,35 | 598,35 | 524,20 | 0,52534 |
| 3 | 3.541,30 | 3,21 | 11358,32 | 598,35 | 587,67 | 11.945,09 | 11659,39 | 0,00 | 755,54 | 755,54 | 469,84 | 0,52476 |
| 4 | 3.539,00 | 3,20 | 11317,58 | 755,54 | 742,05 | 12.093,53 | 11660,03 | 0,00 | 861,31 | 861,31 | 427,81 | 0,52441 |
| 5 | 3.537,42 | 3,21 | 11348,41 | 861,31 | 845,94 | 12.194,15 | 11660,45 | 0,00 | 946,37 | 946,37 | 412,68 | 0,52418 |
| 6 | 3.536,58 | 3,20 | 11329,72 | 946,37 | 929,48 | 12.261,10 | 11660,7 | 0,00 | 1.024,08 | 1.024,08 | 423,67 | 0,52405 |
| 7 | 3.535,58 | 3,19 | 11290,69 | 1.024,08 | 1.005,80 | 12.291,84 | 11660,86 | 0,00 | 1.040,58 | 1.040,58 | 409,59 | 0,52397 |
| 8 | 3.535,46 | 3,19 | 11293,94 | 1.040,58 | 1.022,00 | 12.313,27 | 11661,04 | 0,00 | 1.058,16 | 1.058,16 | 405,93 | 0,52387 |
| 9 | 3.535,20 | 3,20 | 11315,98 | 1.058,16 | 1.039,27 | 12.357,19 | 11661,08 | 0,00 | 1.088,02 | 1.088,02 | 391,91 | 0,52385 |
| 10 | 3.534,88 | 3,20 | 11314,83 | 1.088,02 | 1.068,60 | 12.386,13 | 11661,45 | 0,00 | 1.102,78 | 1.102,78 | 378,10 | 0,52365 |