



Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais

Relatório Final
“Modelagem do Uso da Terra no Brasil”

**Documento Preparado para o “Estudo de Baixo Carbono
para o Brasil” coordenado pelo Banco Mundial**

André Meloni Nassar

Leila Harfuch

Marcelo Melo Ramalho Moreira

Luciane Chiodi

Laura Barcellos Antoniazzi

Maio de 2010

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE FIGURAS | 3 |
| LISTA DE TABELAS | 3 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO | 11 |
| 2.1 METODOLOGIA DE PROJEÇÃO DE LONGO PRAZO | 11 |
| 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO BRASIL..... | 20 |
| 2.3 DESAGREGAÇÃO EM MICRORREGIÕES GEOGRÁFICAS | 26 |
| 3 DESCRIÇÃO DAS EQUAÇÕES E VARIÁVEIS DO MODELO DE USO DA TERRA | 28 |
| 3.1 Demanda | 28 |
| 3.1.1 Demanda por Grãos..... | 28 |
| 3.1.2 Demanda de Etanol | 33 |
| 3.1.3 Demanda de Açúcar | 34 |
| 3.1.4 Demanda de Carne Bovina..... | 34 |
| 3.1.5 Demanda de Carne de Frango e Ovos | 35 |
| 3.1.6 Demanda de Carne Suína | 36 |
| 3.1.7 Demanda de Leite e Derivados..... | 36 |
| 3.2 Oferta | 37 |
| 3.2.1 Produção | 37 |
| 3.2.2 Alocação de área..... | 42 |
| 3.2.3 Oferta de Carne Bovina | 46 |
| 3.2.4 Área de Pastagens..... | 50 |
| 3.2.5 Oferta de Carne de Frango e Ovos | 52 |
| 3.2.6 Oferta de Carne Suína | 53 |
| 4 DADOS UTILIZADOS..... | 55 |
| 5 PROJEÇÕES MACROECONÔMICAS | 59 |
| 6 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS..... | 60 |
| 7 RESULTADOS | 67 |
| 7.1 Resultados do Cenário de Referência | 67 |
| 7.2 Resultados dos Cenários de Baixo Carbono | 72 |
| 7.2.1 Cenário de Otimização do Rebanho | 73 |
| 7.2.2 Cenário de Florestas de Produção | 76 |
| 7.2.3 Cenário de Etanol e Florestas de Produção | 77 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.2.4 | Cenário de Legalidade (Reflorestamento de Reserva Legal)..... | 79 |
| 7.2.5 | Cenário Agregado: Rebanho, Florestas de Produção, Etanol, Restauro | 81 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 78 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |
| | ANEXO | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Mapa das grandes regiões do modelo de uso da terra..... | 12 |
| Figura 2 | – Matriz de competição por terra em regiões brasileiras | 15 |
| Figura 3 | – Diagrama metodológico do modelo de uso da terra | 19 |
| Figura 4 | - Cálculo da Área Disponível para Expansão | 22 |
| Figura 5 | - Uso do Solo por Classes | 22 |
| Figura 6 | – Fontes de dados utilizadas | 58 |
| Figura 7 | – Cenários de Baixo Carbono | 63 |
| Figura 8 | – Comparação de resultados de uso da terra de todos os cenários para o Brasil | 72 |
| Figura 9 | – Comparação de resultados de área de pastagens de todos os cenários para o Brasil e regiões | 73 |
| Figura 10 | – Resultados cenário de referência (gráfico à esquerda) e cenário agregado de baixo carbono (gráfico à direita) | 76 |
| Figura 11 | – Produtividade do etanol em diferentes países (litros por hectare)..... | 83 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | - Uso da terra para lavoura, pastagens e usos não produtivos nos estados brasileiros (em mil ha) | 24 |
| Tabela 2 | - Comparação entre a Área Total de Pastagens e Pastagens e Vegetação Remanescente Conversíveis para Lavouras/Florestas nas Regiões do Modelo do ICONE (em mil ha). | 26 |
| Tabela 3 | - Brasil: Área Alocada e Produção dos Produtos Cobertos pelo Modelo ICONE | 55 |

| | |
|---|----|
| Tabela 4 – Projeções macroeconômicas..... | 59 |
| Tabela 5 – Projeção de florestas de produção | 61 |
| Tabela 6 – Área necessária para reflorestamento de Reserva Legal, por estados do Brasil (ha) | 66 |
| Tabela 7 – Uso Produtivo da Terra - culturas, pasto e florestas - nas diferentes regiões e no Brasil (em mil hectares) | 67 |
| Tabela 8 – Uso da Terra (em mil hectares) nas seis regiões do modelo, cenário de referência | 68 |
| Tabela 9 – Rebanho de vacas leiteiras (em mil cabeças), cenário de referência..... | 70 |
| Tabela 10 – Uso da Terra (em mil hectares) para o Brasil, cenário de referência | 71 |
| Tabela 11 – Oferta e demanda de equilíbrio para os produtos selecionados, cenário de otimização do rebanho | 73 |
| Tabela 12 – Uso da terra no Brasil, cenário de otimização do rebanho (em mil hectares)..... | 74 |
| Tabela 13 – Alocação regional das áreas de pastagens, cenário de referência e de otimização do rebanho (em mil hectares)..... | 75 |
| Tabela 14 – Distribuição regional do rebanho bovino, cenário de referência e cenário de otimização do rebanho (em mil cabeças)..... | 75 |
| Tabela 15 – Distribuição regional da floresta de produção, cenário de referência e de floresta de produção (em mil hectares)..... | 76 |
| Tabela 16 – Uso da terra no Brasil, cenário de etanol (em mil hectares)..... | 78 |
| Tabela 17 – Distribuição regional da cana-de-açúcar, cenário de referência, de otimização do rebanho e de etanol (em mil hectares) | 79 |
| Tabela 18 – Necessidade de reflorestamento para cumprir Reserva Legal nas Regiões do modelo, em mil hectares | 80 |
| Tabela 19 – Área de pastagens nas regiões do modelo em 2009 e 2030, em mil hectares, no Cenário de Reflorestamento de RL..... | 80 |
| Tabela 20 – Resultados do rebanho bovino, cenários de referência, otimização de rebanho e agregado (em mil cabeças)..... | 74 |
| Tabela 21 – Resultados de uso da terra e rebanho para produtos selecionados, cenário agregado | 74 |
| Tabela 22 – Comparação dos níveis de produtividade entre diferentes culturas e países (em ordem decrescente de produtividade em 2007/2008) | 82 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Áreas de Preservação Permanente

ATR – Açúcar Total Recuperável

BID/FUMIN – Banco Interamericano de Desenvolvimento/Fundo Multilateral de Investimentos

CARD – *Center for Agricultural and Rural Development*

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAPRI – *Food and Agricultural Policy Research Institute*

FPP – Fronteira de Possibilidades de Produção

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICONE – Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MAPITO – Maranhão, Piauí e Tocantins

NIPE/CGEE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético/Centro de Gestão e Estudos Energéticos

PNE – Plano Nacional de Energia

RL – Reserva Legal

TI – Terras Indígenas

UC – Unidade de Conservação

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

LISTA DE VARIÁVEIS

| | |
|------------|---|
| i | Produtos do módulo de uso da terra, sendo: $i = a, b, c, f, fp, m, r, s$ |
| i^* | Produtos competidores do módulo de uso da terra, sendo: $i^* = \{a, b, c, f, fp, m, r, s / i^* \neq i\}$ |
| a | Algodão |
| c | Cana-de-açúcar |
| f | Feijão |
| fp | Florestas de produção |
| m | Milho |
| b | Pastagens |
| r | Arroz |
| s | Soja |
| m_{ss} | Milho de segunda safra |
| f_{ss} | Feijão de segunda safra |
| k | Produtos manufaturados, sendo $k = fs, os, ac, el, cb, cf, ov, cs, lf, lm, lt$ |
| fs | Farelo de soja |
| os | Óleo de soja |
| ac | Açúcar |
| el | Etanol |
| cb | Carne bovina |
| cf | Carne de frango |
| ov | Ovos |
| cs | Carne suína |
| lf | Leite fluido |
| lm | Leite manufaturado |
| lt | Leite total ($lt = lf + lm$) |
| pc | Pecuária de corte |
| pl | Pecuária de leite |
| oa | Outros animais |
| ol | Petróleo |
| $D_{i,k}$ | Demanda doméstica para o produto i, k |
| Ca | Consumo para alimentos |
| Ci | Consumo para uso industrial |
| Cbd | Consumo de biodiesel |
| $NT_{i,k}$ | Exportações líquidas para o produto i, k |
| $DT_{i,k}$ | Demanda total do produto i, k |
| j | Região, sendo $j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$ |
| SU | Região Sul |
| SD | Região Sudeste |
| CO | Região Centro-Oeste Cerrado |
| AM | Região Norte Amazônia |
| NL | Nordeste Litorâneo |
| MP | Região MAPITO e Bahia |
| t | Tempo com periodicidade anual |
| $trend$ | Tendência linear no tempo |
| $p_{i,k}$ | Preço do produto i, k |
| Y | Produto Interno Bruto do Brasil, preços de 2000 |
| Y^* | Índice do Produto Interno Bruto Mundial, preços de 2000 |

| | |
|-------------|---|
| Y_c | Renda <i>per capita</i> do Brasil, preços de 2000 |
| e | Taxa de Câmbio nominal |
| e^* | Taxa de Câmbio real |
| df | Deflator do PIB no Brasil (<i>proxy</i> para taxa de inflação), preços de 2000 |
| pop | População no Brasil |
| IF | Índice de Preços de Fertilizantes, preços de 2000 |
| $CT_{i,k}$ | Custo de Transporte do produto i, k |
| IC | Índice de Custos |
| $C_{i,k}$ | Custo de Produção do produto i, k , sendo $C = CF, CV, CT$ |
| $CF_{i,k}$ | Custo Fixo do produto i, k |
| $CV_{i,k}$ | Custo Variável do produto i, k |
| $y_{i,k}$ | Produtividade do produto i, k |
| $R_{i,k}$ | Rentabilidade do produto i, k |
| $FS_{i,k}$ | Estoque Final do produto i, k |
| $IS_{i,k}$ | Estoque Inicial do produto i, k |
| $S_{i,k}$ | Oferta total do produto i, k |
| $PR_{i,k}$ | Produção total do produto i, k |
| A_i | Área alocada para o produto i |
| CH | Rebanho bovino total |
| CH_w | Rebanho bovino de categoria w |
| w | Categoria de rebanho bovino w , sendo $w = vc, vl, bz, ot$ |
| vc | Vacas de corte |
| vl | Vacas leiteiras |
| bz | Bezerros |
| ot | Outros animais bovinos |
| AB | Abate total de bovinos |
| AB_w | Abate de bovinos de categoria k |
| $loss_{CH}$ | Mortalidade total de bovinos |
| SW | Peso médio de abate de bovinos |
| CS | Rebanho de suínos |
| CS_z | Rebanho de suínos de categoria z |
| z | Categoria de rebanho suíno z , sendo $z = ss, pc$ |
| ss | Matrizes de suínos |
| pc | Leitões e leitoas |
| AS | Abate de suínos |
| AS_z | Abate de suínos de categoria z |
| WS | Peso médio no abate de suínos |
| $loss_{CS}$ | Mortalidade total de suínos |
| $HPAU$ | Consumo doméstico de farelo de soja para ração animal |
| $GCAU$ | Consumo doméstico de milho para ração animal |
| ATR | Açúcar Total Recuperável |
| FVT | Frota de veículos total (flex, gasolina, etanol) |
| FVF | Frota de veículos flex |
| FVG | Frota de veículos à gasolina |
| FVE | Frota de veículos a etanol |
| TEP | Tonelada Equivalente Petróleo |
| Π | Políticas governamentais |
| E | Esperança |
| Es | Esmagamento de Soja |
| Me | Margem de esmagamento de soja |

| | |
|--------|-------------------------|
| ϕ | Constante |
| Sh | Participação percentual |

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório reporta os resultados obtidos pelo modelo ICONE de uso da terra em termos de área plantada, oferta e demanda para atividades agrícolas, pecuárias e florestas plantadas. Estes resultados são partes integrantes do cenário de referência e de baixo carbono do “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil”, do Banco Mundial.

O ICONE já percebia a importância de desenvolver um modelo de projeções agrícolas quando, em reunião com membros da equipe do Banco Mundial, foi informado de que o Banco estaria iniciando o Estudo de Baixo Carbono para o Brasil e buscava um parceiro capaz de produzir um modelo quantitativo de projeção de uso da terra. Diante dessa informação, o instituto tomou a decisão de investir em um modelo de uso da terra ainda no primeiro semestre de 2007.

O conceito inicial do projeto era o de distribuir espacialmente projeções exógenas de demanda e oferta extraídas de estudos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) por meio de ferramentas de maximização de lucro. Nas reuniões técnicas posteriores, a equipe do Banco Mundial informou que as projeções deveriam ser explicitamente baseadas em funções matemáticas. Dada a relevância que o tema adquiriu durante o período, o ICONE passou a investir grandes esforços no desenvolvimento de um modelo mais completo, capaz não apenas de espacializar uma produção pré-determinada, mas de simular e projetar simultaneamente oferta e demanda, além da alocação e competição por terra para os principais produtos agropecuários.

Para atingir seu objetivo, o ICONE revisou os modelos existentes de uso da terra e buscou parcerias internacionais para desenvolver uma modelagem de uso da terra que se adequasse às particularidades regionais da agropecuária brasileira. No começo de 2008, o ICONE firmou parceria com o *Food and Agricultural Policy Research Institute* (FAPRI), que é parte do *Center for Agriculture and Rural Development* (CARD), da Universidade de Iowa¹, para o desenvolvimento do modelo brasileiro de projeções agrícolas e uso da terra.

A estrutura do modelo do ICONE é, dessa forma, semelhante ao já reconhecido modelo utilizado pelo FAPRI (FAPRI, 2007), porém adaptado à realidade brasileira. A parceria com o FAPRI permitiu ao ICONE aprimorar a idéia de modelagem inicialmente discutida com a equipe do Banco Mundial, deixando-o mais robusto e tornando endógenas as

¹ Para maiores informações sobre a interação FAPRI/CARD acessar a página do CARD no endereço eletrônico <http://www.card.iastate.edu/>.

projeções de oferta e demanda como uma função das rentabilidades esperadas para cada produto sob estudo.

O aprimoramento do modelo permitiu melhorias significantes em relação ao Termo de Referência firmado entre o Instituto e o Banco Mundial, dentre elas:

- Incluir todo o território brasileiro no escopo do projeto. Inicialmente apenas a atual área de expansão da cana-de-açúcar (Centro-Sul) seria considerada;
- Manter uma metodologia única ao longo de todo o período de projeção. No Termo de Referência seriam utilizadas metodologias diferentes para o período 2008-15 e 2015-2030.

O esforço de desenvolvimento do modelo contou com o apoio de três grupos:

- Do Banco Mundial, por meio do projeto “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil”;
- Do FAPRI/CARD, que disponibilizou a estrutura inicial do modelo (planilha Excel) e as equações iniciais a partir das quais o ICONE desenvolveu a modelagem adaptada ao território brasileiro. O CARD colaborou também com as despesas financeiras para viagens de treinamento dos pesquisadores do ICONE (4 viagens) para Ames, no estado de Iowa nos Estados Unidos, onde é a sede do centro, além da colaboração intelectual no desenvolvimento do modelo. O modelo, dessa forma, é de uso conjunto do ICONE e do CARD;
- Do grupo de mantenedores regulares do ICONE, dos quais fazem parte as associações do setor privado e dos recursos do ICONE aportados pelo projeto BID/FUMIN.

Este documento está dividido como segue. A seção 2 faz uma descrição metodológica do modelo de uso da terra desenvolvido pelo ICONE e como foram feitas as desagregações por microrregião geográfica. A seção 3 complementa a descrição metodológica ao descrever todas as equações utilizadas no modelo de uso da terra e a seção 4 apresenta os dados utilizados no modelo. A seção 5 descreve as projeções macroeconômicas utilizadas no modelo, enquanto a seção 6 descreve os cenários desenvolvidos para fins deste estudo. A seção 7 analisa os resultados obtidos e a seção 8 apresenta algumas considerações finais obtidas com o estudo.

2 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO

O objetivo principal do modelo de uso da terra desenvolvido (*Brazilian Land Use Model* – BLUM) é analisar e projetar como ocorre a evolução do uso da terra em um horizonte temporal de 22 anos, de 2009 até 2030, para os seguintes produtos selecionados: soja, milho (primeira e segunda safras), algodão, arroz, feijão (primeira e segunda safras), cana-de-açúcar, florestas de produção, pecuária bovina de corte e de leite, frango, ovos e suínos.

Primeiramente, o modelo de projeção do uso da terra considera seis grandes regiões brasileiras, como mostra a Figura 1: Sul (Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul), Sudeste (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais), Centro-Oeste Cerrado (Mato Grosso do Sul, Goiás e parte do Mato Grosso dentro do bioma Cerrado e Pantanal), Norte Amazônia (parte do Mato Grosso dentro do bioma Amazônia, Amazonas, Pará, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima), MAPITO e Bahia (Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia), Nordeste Litorâneo (Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe)². Posteriormente, as projeções obtidas nas seis regiões foram desagregadas em microrregiões do IBGE. Essa desagregação é necessária para se calcular o balanço das emissões de Gases de Efeito Estufa do setor agropecuário (feitos pela Embrapa Agrobiologia e Embrapa Cerrados – Temas C e D), além da espacialização dos resultados (feitos pela Universidade Federal de Minas Gerais – Tema A). As duas próximas sub-sessões descrevem a metodologia de projeção e espacialização da produção agrícola no longo prazo.

2.1 Metodologia de projeção de longo prazo

O modelo de projeções de uso da terra desenvolvido pelo ICONE está dividido em dois módulos, interligados entre si: (1) oferta e demanda e (2) alocação de área. O primeiro módulo baseia-se em equilíbrios parciais de oferta e demanda dos produtos selecionados, para cada ano. A demanda é formada por três componentes: demanda doméstica, exportações líquidas (exportações menos importações) e estoque final (somente a demanda de leite, ovos e carnes não incluem a variável estoque final). A oferta é formada por dois componentes:

² Optou-se por dividir as regiões brasileiras de acordo com um critério de homogeneidade de produção e comercialização agropecuária, levando em conta também a divisão de biomas.

produção e estoque inicial (este também somente para grãos, cana-de-açúcar e seus derivados³).

As quantidades ofertadas e demandadas são calculadas simultaneamente, por se partir do princípio microeconômico de equilíbrio de mercado, no qual a oferta e demanda de cada produto de iguala. Este equilíbrio ocorre quando se tem um preço que leva à convergência entre a oferta e a demanda em um mesmo período de tempo. Operacionalmente, o modelo usa como plataforma o Microsoft Excel 5.0 e o preço é ajustado anualmente em função do excesso de demanda de cada produto. O processo ocorre até que se atinja o equilíbrio e o excesso seja zero.



Figura 1 – Mapa das grandes regiões do modelo de uso da terra

Fonte: Baseado no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Elaboração: ICONE.

³ No caso da cana-de-açúcar, consideram-se apenas os estoques de seus derivados: açúcar e etanol.

A demanda por cada produto é estimada nacionalmente a partir de equações econométricas. De modo geral, as variáveis explicativas das equações de demanda doméstica foram: renda *per capita*, população, preço do produto no Brasil, tendência, entre outras, sendo estas variáveis consideradas de forma diferente para cada produto. Para a demanda por carne bovina, por exemplo, foram considerados, adicionalmente, os preços domésticos das carnes competidoras na decisão do consumidor, como as de frango e de suínos. Já para as exportações líquidas, foram consideradas como variáveis explicativas nas equações o crescimento econômico mundial, preços domésticos em dólares americanos e, em alguns casos, a produção doméstica e o preço internacional do petróleo.

De maneira resumida, o modelo está alicerçado nas seguintes hipóteses centrais:

- O preço de equilíbrio é obtido quando, para um determinado ano e um determinado produto, oferta e demanda são iguais. Dessa forma, preços, demanda e oferta são endógenos ao modelo. Os choques que são dados no modelo no cenário de baixo carbono são introduzidos exogenamente ao modelo via oferta ou demanda. No caso do etanol, por exemplo, como será discutido posteriormente, é dado um choque na exportação e observado novos equilíbrios de mercado para todos os produtos.
- A área alocada em cada atividade, para cada ano, é resultado do equilíbrio de mercado. Operacionalmente, a área de uma lavoura, em uma dada região e para um determinado ano, é função da rentabilidade esperada, que por sua vez é calculada a partir da produtividade, do custo projetado para aquele ano e o preço do ano anterior.
- O modelo trabalha com preços aos produtores e consumidores seguindo a mesma tendência no tempo. Isto significa que o comportamento da demanda em relação às variações de preços é baseado nos preços estimados para os produtores.
- O modelo pressupõe perfeita disponibilidade de capital para investimentos e crédito de capital de giro, o que significa que não capta impactos de uma crise de crédito na oferta e na demanda. Para os resultados utilizados neste projeto, considerando que 2009 é um ano de crise de crédito, alguns ajustes pontuais foram feitos na produção de 2009 visando reproduzir com maior precisão as expectativas para este ano.
- Produtividade regional das lavouras e o fator de Açúcar Total Recuperável (ATR) são projetados como tendência no tempo. O modelo ainda não está preparado para captar impactos climáticos ou diferentes níveis de uso de fertilizantes na produtividade.
- Os preços são resolvidos nacionalmente e transmitidos para as regiões usando coeficientes de transmissão de preços estimados por regressões. Apesar de não ser objeto do estudo,

impactos de melhorias em infra-estrutura de transportes sobre a produção regional podem ser avaliados.

- Os custos de produção foram coletados e divididos em três categorias: fixos, variáveis e de transporte. Os custos de produtos animais, no entanto, incluem apenas os custos variáveis.
- O cenário de referência projeta o rebanho bovino considerando que não haverá ganhos produtivos significativos no tempo por meio de melhorias em índices zootécnicos como idade de abate e taxa de reposição de animais. No entanto, dado que o modelo não possui índices zootécnicos endógenos, as equações de desfrute e reposição de bezerras são alteradas ajustando suas respostas às variações de preço.

O módulo de alocação de área entre os diferentes produtos e regiões é um componente utilizado na estimativa da produção de cada produto (grãos e cana-de-açúcar) em cada região, determinando, assim, um dos componentes da oferta brasileira de cada produto. Para cada região são estimadas equações de alocação de área de grãos e de cana-de-açúcar e, considerando que a produtividade por hectare foi estimada como uma tendência, a produção de cada um destes produtos é o resultado da multiplicação da área e da produtividade em cada região. A produção brasileira de cada um dos produtos é resultado da soma da produção regional dos mesmos. Já no caso da produção de carne bovina, esta é calculada a partir das estimativas do número de animais abatidos e do peso médio estimado das carcaças.

A alocação de área em cada região, no caso de grãos e de cana-de-açúcar, foi estimada considerando como variáveis explicativas as rentabilidades regionais da própria cultura e das culturas competidoras (essas negativamente relacionadas). Isso significa que as regiões que apresentarem maiores retornos esperados, para cada produto, terão maior alocação de área para tal produto. Além disso, as equações de alocação de área para a maioria dos grãos e cana-de-açúcar consideram a própria área estimada no período anterior como variável explicativa, evitando, assim, grandes oscilações nas áreas estimadas.

A estrutura das equações de alocação de área para pastagens foi feita de forma diferente em relação às de grãos e de cana-de-açúcar. A quantidade de área alocada para pastagens em cada região é obtida em função das áreas das outras culturas (e não das rentabilidades esperadas) e da evolução do rebanho estimada. Esta opção foi escolhida após várias tentativas de estimação de área de pastagens. Como existem vários níveis tecnológicos e sistemas de produção, a alocação de área com base na rentabilidade da pecuária não apresentou resultados satisfatórios, optando-se por estimar as áreas de pastagens conforme descrito acima. Além disso, como não existe uma série temporal histórica para área de

pastagens no Brasil, o ICONE montou uma série histórica baseada na série anual de rebanho bovino por região (IBGE, 2008b) e, então, foi projetada a área em função das variáveis mencionadas acima, sendo este modelo também inovador neste aspecto.

A área alocada para florestas de produção são projeções exógenas ao modelo de uso da terra, utilizando como base as projeções dos setores de siderurgia, papel e celulose do Grupo Plantar e do Plano Nacional de Energia – PNE/2030 (BRASIL, 2007).

Para especificar as variáveis explicativas das equações de uso da terra para cada produto e região, que determinam a alocação de terra por produto em cada uma das seis regiões, foi desenvolvida uma matriz de competição por terra, descrita na Figura 2.

| | | <i>Produto (variável dependente)</i> | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------|--|
| | | Algodão | Cana-de-açúcar | Soja | Milho | Arroz | Feijão | Pastagem |
| <i>Região e Produto Competidor</i> | Sul | | Soja Milho | Cana-de-açúcar Milho | Cana-de-açúcar Soja | | Soja Milho Arroz | Milho Soja Arroz Feijão Cana-de-açúcar |
| | Sudeste | | Soja Milho | Cana-de-açúcar Milho | Cana-de-açúcar Soja | | Soja Milho Arroz | Milho Soja Feijão Cana-de-açúcar |
| | Centro-Oeste Cerrado | Soja Milho | Soja Milho | Algodão Cana-de-açúcar Milho | Algodão Cana-de-açúcar Soja | Soja Milho | Soja Milho Arroz | Milho Soja Algodão Feijão Cana-de-açúcar |
| | Norte Amazônia | Soja Milho | Soja Milho | Milho | Soja | Soja Milho | Soja Milho Arroz | Milho Soja Arroz Feijão |
| | Nordeste Litorâneo | | Milho | | | | Soja Milho Arroz | Feijão Cana-de-açúcar |
| | MAPITO e Bahia | Soja Milho Arroz Feijão | | Algodão Milho | Algodão Soja Feijão | Milho Soja | Soja Milho Arroz | Milho Soja Algodão Feijão |

Figura 2 – Matriz de competição por terra em regiões brasileiras

Fonte: ICONE.

Esta matriz foi definida a partir de critérios de aptidão agrícola (EMBRAPA, 2008a; EMBRAPA, 2008b; NIPE/CGEE, 2005) e das tendências das áreas plantadas observadas entre 1997 e 2008 (CONAB, 2008; IBGE 2008a). A área de cada cultura responde à sua própria rentabilidade esperada e às rentabilidades esperadas das culturas competidoras (via elasticidades cruzadas). Vale ressaltar que os retornos históricos também indicam as

atividades que são tomadoras e as que são doadoras de área no modelo de competição por terra. A pecuária, por exemplo, tem se mostrado historicamente como uma atividade doadora de terra em todas as regiões, ou seja, pode-se assumir que as áreas de lavouras competem com as áreas pastagens, mas não o contrário.

É importante observar que as regiões são independentes entre si, de modo que as equações de alocação de área para grãos, cana-de-açúcar e pastagens são diferentes em cada região. No entanto, como a produção total de cada produto deve se igualar à demanda total, se alguma cultura reduzir a área em alguma região, o preço do produto relacionado a esta cultura tende a aumentar, fazendo com que outra região compense este efeito via expansão da área alocada para esta cultura. A racionalidade do modelo se baseia no princípio de que os preços de equilíbrio de oferta e demanda determinarão as rentabilidades das culturas em cada região e, conseqüentemente, a área alocada para cada cultura (nos casos de grãos e cana-de-açúcar).

É importante ressaltar a colinearidade observada entre as séries históricas de rentabilidade de algumas culturas como, por exemplo, as culturas de soja e de milho. Este fato levou à necessidade de exclusão de uma dessas variáveis ou da criação de uma nova variável nas equações de uso da terra para determinadas regiões. Em particular, para as equações regionais de projeção de área de cana-de-açúcar foi necessário excluir a rentabilidade da soja como variável explicativa. Já no caso da estimativa de área de pastagens, optou-se por somar as áreas de soja e milho, formando uma nova variável explicativa do módulo de uso da terra.

Como as equações de alocação de área de grãos e cana-de-açúcar se baseiam nas rentabilidades esperadas das culturas, as rentabilidades maiores em relação às de outras culturas e de pastagens levarão à expansão de área alocada. Por exemplo, considere uma situação hipotética na qual a cultura mais rentável em uma determinada região seja a cana-de-açúcar seguida da soja, milho e por último a da bovinocultura e, ainda, considere que a demanda de todos estes produtos é crescente. Mesmo havendo competição entre as culturas devido a suas rentabilidades, deverá haver crescimento nas áreas alocadas de todas as culturas, exceto pastagens. Isso se deve à maior capacidade de aumento de produtividade da bovinocultura em relação às demais culturas, que ocorre via diminuição das pastagens e manutenção – ou até aumento – do rebanho. Assim, não há compensação de área entre os grãos e cana-de-açúcar de forma totalmente proporcional, desde que exista pasto conversível para agricultura. Isso significa que a área estimada para uma dada cultura pode ser reduzida em uma região e aumentada em outra, mas este efeito é devido às respostas à rentabilidade, e não um resultado de um processo de compensação entre diferentes regiões.

No caso da área alocada para pastagens, a expansão da área de grãos e cana-de-açúcar necessariamente gera uma redução na área de pasto, desde que o rebanho bovino não cresça de forma a segurar esta perda de área. No entanto, dados históricos mostram que a área de pastagens não possui tendência de crescimento nas regiões de forte competição por terra para grãos e cana-de-açúcar, ocorrendo o contrário nas regiões produtivas que não são tradicionais nos produtos citados. Assim, se a demanda de carne bovina for crescente e se houver regiões com rebanho estável ou decrescente, implicando em redução na área de pastagens, necessariamente haverá aumento no rebanho nas regiões de fronteira agrícola, que levará a um aumento na área de pastagens. Deve-se notar que a redução na área de pastagens de determinadas regiões só levará a um aumento destas áreas na fronteira agrícola se for acompanhado de um aumento de rebanho bovino.

É importante ressaltar que, em relação aos ganhos de produtividade das lavouras, o modelo de uso da terra do ICONE trata-os como uma tendência que reflete os ganhos do passado. Para se ter um ganho maior de produtividade em relação ao cenário de referência, seria necessário considerar mudanças tecnológicas no modelo (como choques exógenos de tecnologia) e isso implica em mudanças em toda a estrutura de custos de produção das lavouras. Acredita-se que esta é uma hipótese muito forte, já que os níveis de produtividade das lavouras brasileiras são comparáveis aos internacionais⁴ e de já terem sido incorporados ganhos no futuro como uma tendência linear no tempo.

Além disso, o grande volume de áreas de pastagens no Brasil, muitas delas com relativamente baixa produtividade, representam uma potencial área para a expansão da agricultura. Nesse sentido, a pecuária possui uma capacidade de expandir a produção (usando melhores índices zootécnicos e melhorias na qualidade das pastagens) e, ao mesmo tempo, reduzir a área utilizada. Considerando ainda, que esta mudança é mais realista em termos tecnológicos do que se precisaria no caso das lavouras, a expansão deve ocorrer sobre a área de pastagens. Ou seja, segundo a teoria microeconômica, considerando, de maneira simplificada, uma árvore tecnológica que contenha apenas os fatores capital e terra, como a pecuária usa relativamente muita terra e pouco capital, uma pequena variação (aumento) do fator capital irá provocar uma mudança (redução) mais que do proporcional no uso do fator terra⁵. Adicionalmente, ao optar pela melhoria da produtividade da pecuária, estamos trabalhando sobre a Fronteira de Possibilidades de Produção (FPP) existente, diferentemente dos grãos, onde seria necessário assumir inovações tecnológicas ainda não disponíveis, que

⁴ O Anexo A apresenta os dados e comentários para esta afirmação.

⁵ Para esta afirmação basta reconhecer a existência do conceito básico de rendimentos marginais decrescentes.

deslocariam a FPP. Assim, justifica-se a preferência por canalizar grande parte dos ganhos de produtividade sobre a pecuária bovina no Brasil.

Considerando que o modelo de uso da terra do ICONE estima a alocação de área para as seis grandes regiões acima descritas, a substituição entre as culturas em níveis mais desagregados e em curtos períodos de tempo não é capturada. O objetivo do modelo é estimar a alocação de área como uma função da competição entre as culturas e área de pastagens. Projeções de alocação de área, assim, medem a mudança no uso da terra resultante da dinâmica de oferta e de demanda para todos os produtos que competem por terra.

As relações de causa e efeito provenientes da expansão de uma cultura sobre outra ao longo do tempo e a implicação da substituição entre grãos, cana-de-açúcar e pastagens, no entanto, podem ser medidos *a posteriori* aos resultados do modelo se forem feitas algumas pressuposições. Considerando o fato de que as equações de alocação de área de uma região são independentes das outras regiões, é necessário estabelecer um conjunto de pressupostos que relacionem a mudança no uso da terra nas regiões tradicionais com as mudanças ocorridas na fronteira. Somente deste modo será possível medir o efeito indireto proveniente da mudança do uso da terra.

No entanto, é importante destacar que para se analisar a expansão da fronteira agrícola e medir o efeito indireto provocado por determinada cultura é necessário isolar duas diferentes causas do fenômeno. Primeiro, existe o incremento de área na fronteira que é causado pela perda de área das culturas em outras regiões, que pode ser considerado o próprio efeito indireto das culturas. E segundo, existe a expansão na fronteira provocada pela própria expansão das pastagens devido a ganhos insuficientes de produtividade da bovinocultura e ainda aumentos da demanda por carne.

Adicionalmente, os resultados do modelo poderão ser usados para medir o efeito indireto com base na alocação de área para pastagens. Este efeito deverá ocorrer somente se o rebanho bovino for redistribuído entre as regiões, como resultado da expansão de outros usos agrícolas, e após descontar os ganhos de produtividade provenientes da intensificação da bovinocultura. Se esta redistribuição não ocorrer, não haverá efeito indireto.

Um resultado importante do modelo se refere à área total utilizada pelas atividades agrosilvopastoris (considerando os produtos selecionados nesta análise). Se esta área aumentar ao longo do tempo, tem-se a conversão de vegetação nativa em área produtiva. Este excedente na alocação de área pode ser explicado a partir da combinação de dois fatores: (a) um aumento no rebanho bovino nas regiões de fronteira agrícola (regiões Norte Amazônia e MAPITO e Bahia), com uma redução simultânea nas áreas agrosilvopastoris tradicionais, o

que pode ser interpretado como sendo efeito indireto; (b) expansão das culturas na fronteira agrícola, a qual é efeito direto.

Além da competição por terra, existem interações entre os setores analisados, assim como entre um produto e seus subprodutos. Por exemplo, entre os setores de carnes e grãos, a demanda por rações provenientes da oferta de carnes, leite e ovos (milho e farelo de soja, basicamente) é um dos componentes da demanda doméstica de milho e soja. No caso do complexo de soja, o farelo e o óleo são componentes da demanda de soja em grão, a qual é determinada através da margem de esmagamento. De forma similar, o etanol e açúcar são componentes da demanda de cana-de-açúcar.

O diagrama metodológico ilustrado abaixo, Figura 3, resume a dinâmica do modelo de uso da terra desenvolvido para este projeto.

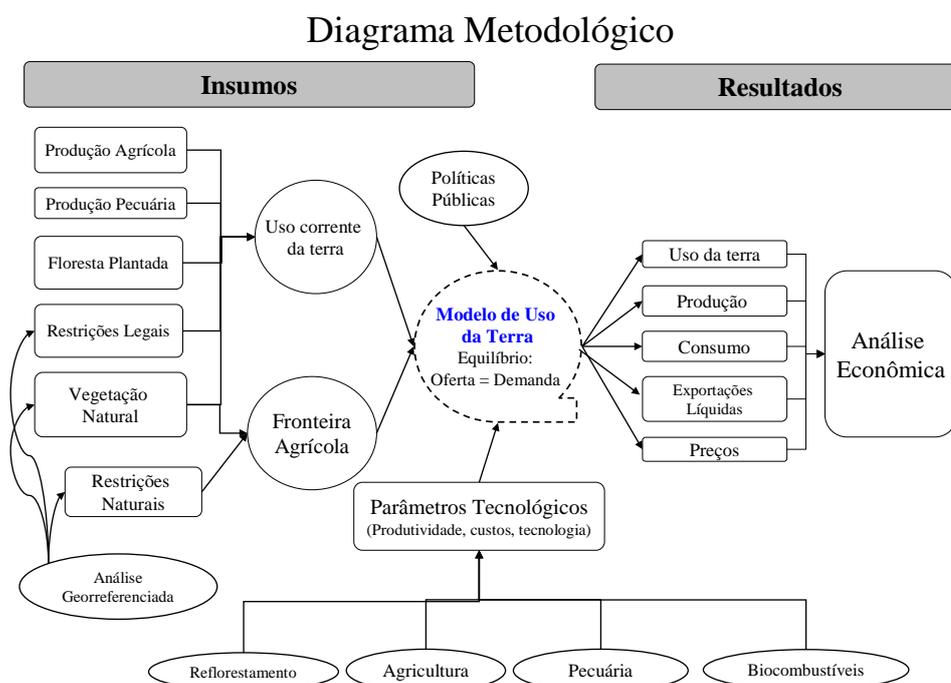


Figura 3 – Diagrama metodológico do modelo de uso da terra

Fonte: ICONE.

Os resultados obtidos no modelo (nas seis grandes regiões) foram desagregados para as microrregiões do IBGE. O critério de desagregação tem como base o histórico de área plantada para cada produto selecionado e considera os dados de restrição de terra disponível para a agropecuária (fornecidos pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG), conforme será descrito no próximo item.

2.2 Caracterização do Uso e Ocupação da Terra no Brasil

Uma das importantes contribuições deste projeto foi caracterizar o uso da terra no Brasil, combinando ferramentas de sensoriamento remoto e dados secundários. A caracterização do uso do solo por meio de ferramentas de sensoriamento remoto se mostrou necessária por três razões:

- Mensuração da área alocada com pastagens;
- Mensuração da área disponível para expansão da produção de lavouras;
- Estimativa, por município, da área com passivo ambiental.

Uma variável chave nessa caracterização era a mensuração da área alocada com pastagens. A única informação de dados secundários disponível sobre áreas de pastagens no Brasil é o Censo Agropecuário do IBGE. A última edição é de 1996. O Censo Agropecuário de 2006 foi publicado com dados preliminares e, por isso, as equipes do tema LULUCF optaram por buscar uma análise alternativa para a área alocada com pastagens. Caracterizar a área alocada com pastagens se tornou fundamental porque ela representa o estoque de terra já convertido para fins produtivos que pode ser utilizado para fins de lavoura e florestas a medida que estes setores avançam. Em função de características da pecuária de corte e leite no Brasil, fortemente baseadas em sistemas extensivos a pasto, embora existam regiões e propriedades com elevado nível de produtividade, a produtividade das pastagens no Brasil é muito baixa. Assim, a intensificação das pastagens, sobretudo aquelas de mais baixo nível de produtividade, é uma das medidas mais importantes para viabilizar a expansão das lavouras e das florestas de produção sem efeito sobre a fronteira agrícola.

Além de medir a área alocada com pastagens, a equipe concluiu que era necessário avaliar também a área disponível para uso produtivo (agricultura, pecuária e florestas de produção), tendo em vista que as projeções mostrariam que a área ocupada para fins produtivos cresceria no tempo. O critério escolhido foi de avaliar as áreas disponíveis assumindo que não haveria desmatamento adicional, ou seja, seria a área disponível de pastagens que poderia ser convertida para lavouras, considerando como pastagens não apropriadas para lavouras aquelas em áreas com impedimento.

Adicionalmente a isso, dado que uma das medidas do Cenário de Baixo Carbono seria o cenário de legalidade, ou seja, o restauro florestal com objetivo de eliminar o passivo ambiental do setor produtivo (áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente),

havia a necessidade de se avaliar, de forma espacializada, a cobertura vegetal remanescente no território brasileiro, que é uma das classes de uso do solo.

A Figura 4 resume os passos utilizados na análise por georeferenciamento e a Figura 5 os resultados de uso do solo pelas diferentes classes. A análise georreferenciada, realizada em resolução de 1 ha, se baseou nos mapas do PRODES, do PROBIO e do SOS Mata Atlântica. Sete classes de uso de solo foram definidas: hidrografia, agricultura, pastagens, influência urbana, florestamento/reflorestamento, vegetação secundária, savana e floresta. Cada uma das classes, para os biomas Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia, foram divididas em dois grupos: com impedimento e sem impedimento. No grupo com impedimento, estão as áreas protegidas que não podem ser utilizadas para fins produtivos (unidades de conservação, reservas indígenas e áreas de preservação permanente) e áreas com elevadas declividades e solos impróprios para produção. Especificamente para o cálculo do passivo ambiental, o grupo com impedimento foi separado em dois grupos: áreas protegidas, basicamente unidades de conservação e reservas indígenas, e áreas não protegidas. As áreas não protegidas foram agregadas no grupo sem impedimento para que se pudesse estimar o déficit de reserva legal.

As áreas apropriadas para expansão de agricultura e florestas de produção sem a necessidade de desmatamento (iluminadas em amarelo) totalizam 126 milhões de ha e, quando excluídas as áreas do Bioma Amazônia e demais Florestas, totalizam 89 milhões de ha. Esses totais, como pode ser observado no gráfico, são das pastagens, em áreas sem impedimento, apropriadas para agricultura e florestas.

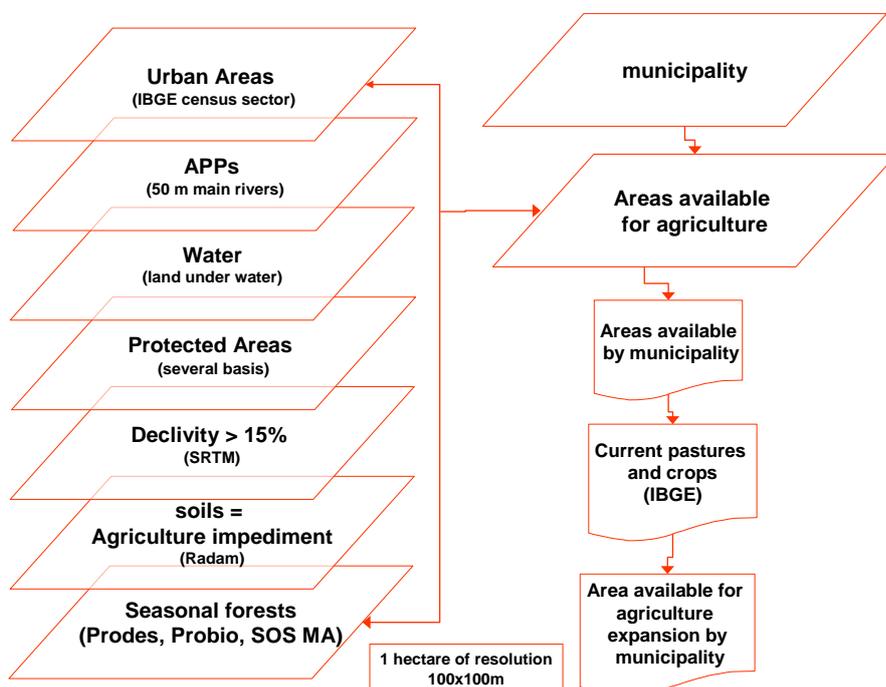


Figura 4 - Cálculo da Área Disponível para Expansão

Fonte: UFGM, Tema A.

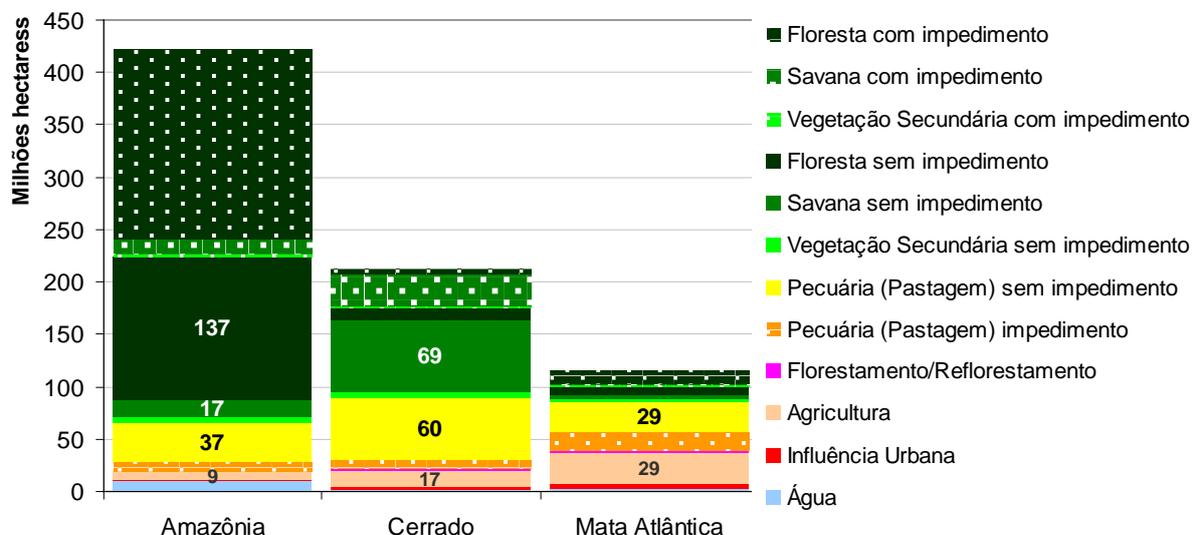


Figura 5 - Uso do Solo por Classes

Fonte: UFGM, Tema A.

Nota: excluindo os biomas Pampa, Caatinga e Pantanal.

No que diz respeito ao modelo econômico de uso do solo, três informações da análise acima são fundamentais: área de pastagens total, área disponível para expansão da agricultura e florestas de produção e cálculo da área que precisa ser reflorestada para o cenário de legalidade.

A área de pastagem total é importante porque foi utilizada como dado para a montagem de uma série de tempo de área alocada para pastagens no Brasil, necessária para a estimação dos parâmetros das projeções. A área disponível para expansão, que equivale à área de pastagem alocada em áreas sem impedimento, foi utilizada para se avaliar, nas projeções, se havia restrição de terra nas regiões utilizadas no modelo de projeção.

A Tabela 1 a seguir apresenta os dados de área alocada com pastagem utilizada no modelo de projeção (identificada como pastagens UFGM/ICONE) e os dados do Censo Agropecuário do IBGE, por estado. Os dados de pastagens apresentados na tabela são uma combinação das informações calculadas por sensoriamento remoto da UFGM com os dados do Censo de 2006 compilados pelo ICONE. Cada estado foi analisado em detalhes e a equipe do LULUCF fez escolhas entre as fontes. A regra geral utilizada foi que para os estados onde

havia muita diferença, geralmente os da região Norte e Minas Gerais, a fonte seria a UFMG. Para os demais, se utilizaria o Censo de 2006.

Observa-se que a modelagem econômica está utilizando uma área de pastagens substancialmente maior do que os dados preliminares divulgados no Censo Agropecuário de 2006. Duas razões justificam a decisão da equipe do LULUCF de utilizar dados de área com pastagens maiores do que os dados apontados pelo Censo de 2006. A primeira é o fato de que nos estados da Amazônia os dados da UFMG tinham maior coerência com o ritmo de desmatamento observado na região. A segunda justificativa é que contatos informais feitos com o IBGE sinalizaram que os dados do Censo de 2006 deverão ser corrigidos para cima no caso das pastagens.

Tabela 1 - Uso da terra para lavoura, pastagens e usos não produtivos nos estados brasileiros (em mil ha)

| UF | 1996 | | | | | | 2006 | | | |
|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| | Lavouras Censo | Pastagens Censo | Matas e florestas | Terras produtivas não utilizadas | Terras inaproveitáveis | Lavouras temporárias em descanso | Lavouras Censo | Pastagens Censo | Pastagens UFMG/ICONE | Matas e florestas |
| Rondônia | 432 | 2,922 | 5,131 | 237 | 99 | 69 | 513 | 5,064 | 8,218 | 3205 |
| Acre | 76 | 614 | 2,338 | 55 | 54 | 45 | 178 | 1,032 | 1,934 | 2527 |
| Amazonas | 235 | 529 | 2,145 | 245 | 99 | 69 | 2,377 | 1,837 | 2,882 | 3253 |
| Roraima | 133 | 1,543 | 1,023 | 103 | 134 | 41 | 228 | 807 | 807 | 778 |
| Pará | 808 | 7,456 | 11,707 | 1,426 | 615 | 508 | 3,214 | 13,168 | 21,549 | 10470 |
| Amapá | 20 | 245 | 375 | 37 | 23 | 1 | 84 | 432 | 432 | 801 |
| Tocantins | 267 | 11,078 | 3,036 | 1,304 | 721 | 359 | 812 | 10,291 | 10,291 | 5251 |
| Maranhão | 822 | 5,311 | 2,876 | 2,040 | 495 | 1,018 | 4,078 | 6,163 | 6,163 | 4642 |
| Piauí | 676 | 2,398 | 3,646 | 2,037 | 361 | 540 | 1,642 | 2,783 | 2,783 | 4415 |
| Ceará | 1,369 | 2,632 | 2,725 | 929 | 548 | 761 | 2,172 | 2,925 | 2,925 | 2927 |
| Rio G. do Norte | 589 | 1,246 | 1,127 | 383 | 162 | 227 | 1,114 | 1,334 | 1,334 | 1149 |
| Paraíba | 641 | 1,852 | 692 | 417 | 263 | 245 | 705 | 1,998 | 1,998 | 1168 |
| Pernambuco | 1,233 | 2,131 | 1,246 | 467 | 264 | 240 | 4,609 | 2,507 | 2,507 | 1449 |
| Alagoas | 847 | 862 | 176 | 110 | 61 | 85 | 980 | 874 | 874 | 223 |
| Sergipe | 279 | 1,154 | 158 | 49 | 36 | 27 | 905 | 1,164 | 1,164 | 304 |
| Bahia | 3,890 | 14,490 | 7,137 | 2,194 | 1,185 | 948 | 6,009 | 12,902 | 12,902 | 9301 |
| Minas Gerais | 4,172 | 25,349 | 7,378 | 1,016 | 2,148 | 749 | 6,911 | 20,555 | 30,909 | 8806 |
| Espírito Santo | 829 | 1,821 | 545 | 92 | 150 | 53 | 926 | 1,316 | 1,316 | 475 |
| Rio de Janeiro | 337 | 1,545 | 349 | 39 | 107 | 38 | 604 | 1,606 | 2,306 | 363 |
| São Paulo | 5,256 | 9,062 | 1,949 | 155 | 719 | 228 | 7,455 | 8,594 | 9,522 | 2321 |
| Paraná | 5,101 | 6,677 | 2,795 | 259 | 725 | 390 | 8,091 | 5,735 | 5,735 | 3173 |
| Santa Catarina | 1,570 | 2,339 | 1,910 | 140 | 499 | 154 | 2,984 | 3,455 | 3,455 | 2170 |
| Rio G. do Sul | 5,635 | 11,680 | 2,512 | 220 | 1,112 | 642 | 7,239 | 8,955 | 8,955 | 2677 |
| Mato G. do Sul | 1,384 | 21,811 | 5,878 | 404 | 1,348 | 118 | 2,218 | 18,421 | 26,370 | 4951 |
| Mato Grosso | 2,952 | 21,452 | 21,544 | 1,446 | 1,962 | 494 | 6,866 | 22,809 | 24,183 | 17759 |
| Goiás | 2,175 | 19,405 | 3,847 | 546 | 1,243 | 258 | 3,591 | 15,525 | 17,235 | 5240 |
| Dist. Federal | 66 | 96 | 48 | 12 | 18 | 5 | 192 | 82 | 140 | 92 |
| Brasil | 41,794 | 177,700 | 94,294 | 16,360 | 15,152 | 8,310 | 76,697 | 172,333 | 208,889 | 100 |

Fonte: IBGE, UFMG, ICONE.

A Tabela 2 traz uma comparação da área de pastagens com a área disponível para expansão de agricultura e florestas, também chamada de pastagens conversíveis para lavoura e florestas. Os dados são apresentados nas macrorregiões utilizadas pelo modelo do ICONE. A tabela traz também o montante de terra com vegetação remanescente que poderia ser convertido para lavouras e florestas, ou seja, vegetação remanescente em áreas sem impedimento.

É importante explicar de que forma as áreas conversíveis, pastagens e vegetação remanescente, apresentadas na Tabela 3, foram utilizadas no modelo de projeção de uso da terra. A área de pastagens conversível para agricultura equivale a uma restrição de área máxima a ser ocupada com lavouras e florestas nas projeções. Isso garante que as projeções, para cada microrregião, não vão levar a uma expansão da área de lavouras e florestas maior do que o montante disponível de pastagens. Dessa forma, a informação de área disponível é relevante para as projeções do cenário de baixo de baixo carbono, cujo pressuposto básico é que toda a expansão agrícola e de florestas não poderia causar desmatamento e teria que ser acomodada nas pastagens aptas para ambas as atividades. A área conversível de pastagens foi importante também na abertura dos dados projetados para as macrorregiões para as microrregiões. Cada microrregião tinha uma restrição de área máxima para lavouras e florestas definida pela área de pastagens conversíveis.

No entanto, a informação das pastagens conversíveis não foi utilizada nas projeções do cenário de referência porque neste cenário não havia a preocupação de alocar a expansão de lavouras e florestas apenas nas áreas de pastagens. Ou seja, o cenário de referência considerou que toda a demanda adicional por terra projetada levaria a uma conversão de vegetação remanescente em pastagens, produção agrícola ou florestas. Neste cenário, portanto, a informação relevante foi a vegetação remanescente em áreas sem impedimento, por macrorregião, também apresentada na Tabela 2. No cenário de referência as projeções de expansão total de área (soma das lavouras, pastagens e florestas de produção) não poderiam ser maiores do que a área de vegetação remanescente apresentada abaixo. Como será observado na seção de resultados, a demanda adicional por terra no cenário de referência foi muito menor do que a terra disponível de vegetação remanescente.

A última informação relevante se refere ao pressuposto de que, no cenário de referência, toda expansão da área total (soma de área alocada para lavouras, florestas de produção e pastagens) gera conversão de vegetação natural. Este pressuposto se sustenta no

fato de que os dados correntes de uso de solo para agropecuária e florestas (Tabela 1) não consideram a existência de áreas já desmatadas, mas sem uso produtivo, que poderiam ser incorporadas na produção à medida que a área total se expandisse. Assim, no uso corrente do solo, se considerou que não havia terras aptas para produção mas sem uso produtivo. Um exemplo é o caso das pastagens: dos 208,9 milhões de ha alocados para pastagens, é razoável pensar que parte desse total não está sob uso produtivo. No entanto, devido à dificuldade de mensurar a existência de áreas de pastagens sem uso produtivo, se optou por assumir que 100% das pastagens são utilizadas para pecuária. A Tabela 1 mostra que o Censo de 1996 apresenta cerca de 16,3 milhões de ha de terras produtivas não estavam sendo usadas para fins produtivos em 1996. É um número bastante elevado que, certamente, levaria a um menor desmatamento caso, no estoque corrente de terras, fosse considerado na alocação da área adicional calculada pelo modelo de uso da terra. Assim, o desmatamento do cenário de referência tende a ser superestimado.

Tabela 2 - Comparação entre a Área Total de Pastagens e Pastagens e Vegetação Remanescente Conversíveis para Lavouras/Florestas nas Regiões do Modelo do ICONE (em mil ha).

| Região ICONE | Pasto Total | Pasto conversível para Lavoura/Florestas | Vegetação remanescente conversível para Lavouras/Florestas |
|----------------------|-------------|--|--|
| Sul | 18.146 | 5.681 | 6.721 |
| Sudeste | 44.053 | 30.335 | 16.415 |
| Centro-Oeste Cerrado | 51.200 | 42.553 | 30.114 |
| Norte Amazônia | 52.551 | 39.079 | 167.017 |
| Nordeste Litorâneo | 10.801 | 0 | 0 |
| MAPITO e Bahia | 32.138 | 8.365 | 40.319 |
| Brasil | 208.889 | 126.014 | 260.586 |

Fonte: ICONE.

2.3 Desagregação em Microrregiões Geográficas

Os resultados de alocação de área obtidos para o cenário de referência e de baixo carbono em cada uma das seis grandes regiões foram espacializados para o nível de microrregiões do IBGE a fim de identificar as regiões mais dinâmicas que determinarão, em parte, a localização da futura expansão das atividades agropecuárias.

O critério para tal desagregação foi o histórico do crescimento de cada cultura e a área disponível para uso agrícola. No caso da cana-de-açúcar, como a logística é a maior restrição neste setor (impondo um limite na distância entre usinas e canaviais), as localizações das usinas em operação, usinas em construção e usinas em projeto determinaram a espacialização da produção de cana-de-açúcar por microrregião ao longo do tempo. Já o histórico da área com florestas produtivas foi obtido a partir de uma aproximação dos dados de produção da silvicultura provenientes do IBGE (IBGE, 2008c). A área disponível para agricultura foi estimada pela UFMG e incluiu as pastagens passíveis de conversão, ou seja, aquelas em áreas sem impedimento (legal e/ou com declive acentuado e solos impróprios⁶). Somente no caso do cenário de referência foram também consideradas como disponíveis para agropecuária as áreas de vegetação remanescente sem impedimento.

Foi desenvolvido um critério de priorização dos diferentes usos, variando conforme a região, mas sempre considerando a cana-de-açúcar como primeira – devido a sua localização entre as microrregiões ser mais precisa – seguida das demais culturas em diferentes ordens, florestas de produção e, por fim, pastagens. A priorização entre as culturas foi definida considerando um ranking das culturas mais importantes na região, em termos de área plantada nos últimos 10 anos.

Assim, primeiro foi alocada a área de cana-de-açúcar, fazendo com que a área agricultável disponível da microrregião para a cultura seguinte já fosse descontada a área de cana-de-açúcar e, assim, sucessivamente cultura por cultura, até as pastagens. Quando a área disponível em uma microrregião se esgota, o crescimento das culturas nesta microrregião é interrompido e repassado para as outras microrregiões com maior participação no crescimento histórico de tais usos.

A seção a seguir descreve detalhadamente as equações de oferta e demanda estimadas para cada produto utilizadas no modelo de uso da terra do ICONE.

⁶ Dentre os impedimentos legais estão Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI). As restrições de solo concentram-se na rugosidade e tipos de solo.

3 DESCRIÇÃO DAS EQUAÇÕES E VARIÁVEIS DO MODELO DE USO DA TERRA

De modo geral, o modelo é formado por equações de oferta e demanda para cada produto. Além dos produtos que competem por terra, descritos anteriormente (soja, milho, arroz, feijão, algodão, cana-de-açúcar, florestas de produção, pastagens), para se ter equilíbrios de mercado é necessário incluir os produtos manufaturados, para que toda a cadeia produtiva alcance o equilíbrio, principalmente nos casos da soja (com o farelo e o óleo de soja) e da cana-de-açúcar (com o açúcar e o etanol). Esta seção tem como objetivo descrever todas as equações utilizadas no modelo do ICONE e as variáveis utilizadas.

3.1 Demanda

De modo geral, a demanda total é formada por três componentes: demanda doméstica, exportações líquidas (exportações menos importações) e estoque final.

A projeção das exportações líquidas para alguns produtos é exógena e determinada pelo modelo de comércio internacional do FAPRI, de 2008 ao ano de 2018. A partir de 2018 as exportações líquidas passam a ser endógenas ao modelo, respondendo às variáveis como crescimento da economia mundial, preços dos produtos, taxa de câmbio real, entre outras. A demanda por cada produto é explicada nas seções a seguir.

3.1.1 Demanda por Grãos

Para os grãos a demanda total ($DT_{i,t}$) é formado pela demanda doméstica ($D_{i,t}$), pelas exportações líquidas ($NT_{i,t}$) e pelo estoque final ($FS_{i,t}$). A demanda doméstica dos grãos, em específico do arroz, algodão e feijão é estimada em função dos preços de cada grão e da renda *per capita*. As exportações líquidas foram estimadas a partir do preço de cada grão em dólares americanos, do crescimento econômico mundial e em alguns casos de uma tendência. As equações foram estimadas da seguinte forma:

$$DT_{i,t} = D_{i,t} + NT_{i,t} + FS_{i,t}$$

$$FS_{i,t} = f(\text{trend}, p_{i,t}) \quad i = s, m, a, r, f, fs, os$$

sendo $p_{i,t}$ o preço do grão i no tempo t , a algodão, f feijão, r arroz, m milho, s soja, fs farelo de soja, os óleo de soja e trend a tendência linear.

Nos itens a seguir são descritos cada componente da demanda para todos os produtos analisados no modelo.

3.1.1.1 Demanda Doméstica de Algodão, Arroz, Feijão

As equações de demanda doméstica das culturas de algodão, arroz e feijão seguem a mesma estrutura, sendo compostas pelos preços dos respectivos produtos e pela renda per capita, conforme a seguinte equação:

$$D_{i,t} = f(p_{i,t}, Yc_t) \quad \text{para } i = a, f, r$$

sendo $p_{i,t}$ o preço do grão i no tempo t , Yc_t a renda *per capita*, a algodão, f feijão e r arroz.

Já a estrutura da equação de demanda doméstica para os demais cultivos e seus subprodutos como o milho, a soja, o farelo e o óleo de soja é composta por componentes específicos relacionados aos outros usos além da produção de alimentos como, por exemplo, para a produção de ração animal e biodiesel, conforme detalhado nos próximos itens.

3.1.1.2 Demanda Doméstica de Milho

No caso do milho, a demanda doméstica é composta pelo uso destinado a rações para animais ($GCAU$), estando, portanto, diretamente relacionada com a estimativa de carnes, principalmente de suínos e frango. Outro componente da demanda doméstica de milho é uso destinado ao consumo humano, sendo então representada pela seguinte equação:

$$D_{m,t} = f(GCAU_t, Yc_t, p_{m,t})$$

sendo $Y_{c,t}$ a renda per capita, $p_{m,t}$ o preço do milho no período t e $GCAU$ o uso de milho destino à ração de bovinos de corte e de leite, aves de corte e poedeiras e suínos no período t , as quais serão descritas de forma mais detalhada na seção destinada às carnes.

O consumo de milho total destinado ao consumo animal é representado pela seguinte equação:

$$GCAU_t = GCAU_{cs,t} + GCAU_{fr,t} + GCAU_{ov,t} + GCAU_{cb,t} + GCAU_{lt,t}, \text{ onde:}$$

$$GCAU_{cs,t} = f(p_{m,t}, S_{cs,t})$$

$$GCAU_{fr,t} = f(p_{m,t}, S_{fr,t})$$

$$GCAU_{ov,t} = f(p_{m,t}, S_{ov,t})$$

$$GCAU_{lt,t} = f(p_{m,t}, S_{lt,t}, trend)$$

$$GCAU_{cb,t} = f(p_{m,t}, S_{cb,t}, trend)$$

sendo: m o milho, p_{it} é preço do milho no período t , $S_{k,t}$ é a oferta total do produto k no período t , sendo $k = cb, cf, cs, lt$; cb é carne bovina, cf é carne frango, cs é carne suína, lt é leite.

3.1.1.3 Demanda Doméstica de Soja

A demanda doméstica por soja em grão é função do consumo de alimentos, (Ca_t), e, do esmagamento de soja em grãos (Es_t), no período t , a qual é representada pela seguinte equação:

$$D_{s,t} = f(Es_t, Ca_t), \text{ onde:}$$

$$Es_t = f(Me_t, trend) \text{ e } Ca_t = f(p_{m,t}, trend)$$

sendo $trend$ a tendência linear, $p_{m,t}$ o preço do milho e Me_t a margem de esmagamento no período t , a qual compara o retorno da soja em grão com o retorno de seus subprodutos, farelo de soja e óleo de soja.

3.1.1.4 Demanda Doméstica de Farelo de Soja

A demanda doméstica por farelo de soja é determinada pelo preço do farelo de soja e pelo consumo de farelo destinado à ração dos animais (*HPAU*).

$$D_{fs,t} = f(p_{fs,t}, HPAU_t) + D_{fs,oa,t}$$

sendo $p_{fs,t}$ o preço do farelo de soja no período t e *HPAU* o uso de farelo de soja destino à ração de bovino de corte e leiteiro, aves de corte e poedeiras e suínos no período t , o qual é determinado exogenamente (o qual será explicado de forma mais detalhada na seção de carnes) e $D_{fs,oa,t}$ a demanda de farelo de soja para outros animais (*oa*), a qual é determinada como uma tendência conforme o crescimento observado no passado.

3.1.1.5 Demanda Doméstica de Óleo de Soja

A demanda doméstica de óleo de soja é composta pelo consumo de alimentos, Ca_t , e do consumo industrial, Ci_t no tempo t , segundo a equação abaixo:

$$D_{os,t} = f(Ca_t, Ci_t), \text{ onde:}$$

$$Ca_t = f(p_{os,t}) \text{ e } Ci_t = f(C_{bd,s,t})$$

onde p_{os} é o preço do óleo de soja $C_{bd,t}$ é o consumo de biodiesel de óleo de soja no período t , o qual é calculado a partir do cenário de consumo de diesel e de biodiesel de óleo de soja do PNE 2030, o qual será detalhado no capítulo de resultados.

3.1.1.6 Exportações Líquidas de Algodão, Soja, Farelo e Óleo de soja

As equações de exportações líquidas de algodão, soja, farelo e óleo de soja possuem a mesma estrutura, sendo composta pelo preço do respectivo produto, pela taxa de câmbio e pelo PIB mundial. A semelhança na estrutura destes grãos está relacionada com o fato de que grande parte da produção de suas produções é destinada ao mercado externo.

$$NT_{i,t} = \begin{cases} f(p_{i,t}, e_t^*, Y_t^*), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno} & \text{se } t \leq 2018 \end{cases} \quad i = a, s$$

$$NT_{k,t} = \begin{cases} f(p_{k,t}, e_t^*, Y_t^*), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno} & \text{se } t \leq 2018 \end{cases} \quad k = fs, os$$

sendo $p_{i,t}$ o preço do grão i no tempo t , e_t^* a taxa de câmbio real, Y_t^* o Índice do PIB mundial no tempo t , a algodão, s soja, fs farelo de soja, os óleo de soja.

A produção dos demais produtos, milho, arroz e feijão é destinada principalmente para o mercado interno sendo exportado somente o excedente. Logo, as equações de exportações líquidas para esses produtos seguem uma estrutura específica, podendo ter como variável explicativa a produção.

As equações destes produtos são analisadas individualmente nos itens a seguir.

3.1.1.7 Exportações Líquidas Milho

A equação de exportações líquidas de milho tem como variável explicativa o preço do milho em dólares americano e a produção de milho no mercado interno, uma vez que a maior parte da produção de milho brasileiro é destinada ao consumo interno, principalmente para a produção de ração e apenas o excedente é exportado.

$$NT_{m,t} = f(p_{m,t}, e_t^*, PR_{m,t})$$

sendo $p_{m,t}$ é o preço do milho, e_t^* a taxa de câmbio real, $PR_{m,t}$ a produção de milho no período t .

3.1.1.8 Exportações Líquidas Arroz

As exportações líquidas de arroz são determinadas endogenamente para todo o horizonte de previsão de 2009 a 2030, ou seja:

$$NT_{r,t} = f(p_{r,t}, e_t^*, Y_t^*)$$

onde $p_{r,t}$ é o preço do arroz, e_t^* a taxa de câmbio real e Y_t^* o Índice do PIB mundial no período t .

3.1.1.9 Exportações Líquidas de feijão

As exportações líquidas de feijão são determinadas endogenamente para todo o horizonte de previsão de 2009 a 2030 e são explicadas principalmente pelo preço do feijão, já que o feijão é produzido basicamente para o consumo no mercado interno, sendo complementado pelas importações. Logo, as exportações líquidas de feijão são representadas pela seguinte equação:

$$NT_{f,t} = f(p_{f,t}, e_t^*)$$

onde $p_{f,t}$ é o preço do feijão e e_t^* a taxa de câmbio real no período t .

3.1.2 Demanda de Etanol

A demanda total de etanol ($DT_{el,t}$) é formada pela demanda doméstica ($D_{el,t}$) e pelas exportações líquidas ($NT_{el,t}$) além do estoque final ($FS_{el,t}$).

A demanda doméstica e exportações de etanol são variáveis exógenas, extraídas do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030). O estoque final de etanol é o único elemento da demanda de etanol que é endógeno ao modelo. A equação de demanda total de etanol pode ser assim escrita como

$$DT_{el,t} = D_{el,t} + NT_{el,t} + FS_{el,t}$$

$$NT_{el,t} = \begin{cases} f(Y_t^*, p_{el,t}), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno}, & \text{se } t \leq 2018 \end{cases}$$

$$FS_{el,t} = f(p_{el,t})$$

onde $p_{el,t}$ é o preço do etanol e Y_t^* o Índice do PIB mundial no período t .

3.1.3 Demanda de Açúcar

A demanda total de açúcar ($DT_{ac,t}$) é formada pela demanda doméstica ($D_{ac,t}$) e pelas exportações líquidas ($NT_{ac,t}$), além do estoque final ($FS_{ac,t}$). A demanda doméstica é uma função da renda *per capita*, da população total e do preço do açúcar. A projeção das exportações líquidas é exógena e determinada pelo modelo de comércio internacional do FAPRI de 2008 ao ano de 2018. A partir de 2018 as exportações líquidas passam a ser endógenas ao modelo, respondendo às variáveis de crescimento da economia mundial e negativamente ao preço⁷ do açúcar no Brasil. Os estoques de açúcar, endógenos ao modelo, respondem ao preço do açúcar no mercado interno.

$$DT_{ac,t} = D_{ac,t} + NT_{ac,t} + FS_{ac,t}$$

$$D_{ac,t} = f(pop_t, Yc_t, p_{ac,t})$$

$$NT_{ac,t} = \begin{cases} f(Y^*, p_{ac,t}), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno}, & \text{se } t \leq 2018 \end{cases}$$

$$FS_{ac,t} = f(p_{ac,t}),$$

sendo $p_{ac,t}$ o preço do açúcar, Yc_t o PIB per capita do Brasil, Y_t^* o Índice do PIB mundial no período t .

3.1.4 Demanda de Carne Bovina

No caso da bovinocultura, o componente de demanda total ($DT_{cb,t}$) é formado pela demanda doméstica ($D_{cb,t}$) e pelas exportações líquidas ($NT_{cb,t}$). A demanda doméstica de carne bovina foi estimada em função dos preços das carnes bovina, suína e de frango e da renda *per capita*. As exportações líquidas foram estimadas a partir do preço da carne bovina em dólares americanos, do crescimento econômico mundial e de uma tendência. As equações foram estimadas da seguinte forma:

⁷ As exportações são modeladas como variável de demanda, logo uma redução do preço no Brasil resulta em uma expansão da demanda por importações vindas do Brasil.

$$DT_{cb,t} = D_{cb,t} + NT_{cb,t}$$

$$D_{cb,t} = f(p_{cb,t}, p_{cf,t}, p_{cs,t}, Yc_t)$$

$$NT_{cb,t} = \begin{cases} f(p_{cb,t}, e_t^*, Y_t^*), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno} & \text{se } t \leq 2018 \end{cases}$$

sendo $p_{cb,t}$ o preço da carne bovina, $p_{cf,t}$ o preço da carne de frango, $p_{cs,t}$ o preço da carne suína, Yc_t o PIB per capita do Brasil, e_t^* a taxa de câmbio real, Y_t^* o Índice do PIB mundial no período t .

3.1.5 Demanda de Carne de Frango e Ovos

De forma similar à demanda por carne bovina, a demanda total de carne de frango no período t ($DT_{cf,t}$) é proveniente da soma da demanda doméstica ($D_{cf,t}$) e das exportações líquidas ($NT_{cf,t}$) no mesmo período. A estimativa da demanda doméstica depende do preço da carne de frango, do preço da carne bovina e do PIB per capita do Brasil. Neste caso, o preço da carne suína não foi estatisticamente significativo na determinação da demanda de carne de frango e, por isso, foi excluído da equação. Para as exportações líquidas foram utilizadas as mesmas variáveis descritas nas exportações líquidas de carne bovina. As equações são descritas como segue:

$$DT_{cf,t} = D_{cf,t} + NT_{cf,t}$$

$$D_{cf,t} = f(p_{cb,t}, p_{cf,t}, Yc_t)$$

$$NT_{cf,t} = \begin{cases} f(p_{cf,t}, e_t^*, Y_t^*), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno} & \text{se } t \leq 2018 \end{cases}$$

sendo p_{cb} o preço da carne bovina, p_{cf} o preço da carne de frango, Yc o PIB per capita do Brasil, e^* a taxa de câmbio real, Y^* o Índice do PIB mundial.

No caso da demanda de ovos, esta é formada pela demanda doméstica de ovos ($D_{ov,t}$) e pelas exportações líquidas de ovos ($NT_{ov,t}$). A demanda doméstica depende do preço de ovos ao produtor e do PIB *per capita*, enquanto que as exportações líquidas são função do

preço de ovos ao produtor e do crescimento econômico mundial. As seguintes equações foram estimadas:

$$DT_{ov,t} = D_{ov,t} + NT_{ov,t}$$

$$D_{ov,t} = f(p_{ov,t}, Yc_t)$$

$$NT_{ov,t} = f(p_{ov,t}, Y_t^*)$$

sendo p_{ov} o preço de ovos ao produtor, Yc o PIB per capita do Brasil, Y^* o Índice do PIB mundial.

3.1.6 Demanda de Carne Suína

De forma similar à demanda por carne de frango, podem-se descrever as equações de demanda de carne suína da seguinte forma:

$$DT_{cs,t} = D_{cs,t} + NT_{cs,t}$$

$$D_{cs,t} = f(p_{cb,t}, p_{cs,t}, Yc_t, trend)$$

$$NT_{cs,t} = \begin{cases} f(p_{cs,t}, e_t^*, Y_t^*) & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno} & \text{se } t \leq 2018 \end{cases}$$

sendo p_{cb} o preço da carne bovina, p_{cs} o preço da carne suína, Yc o PIB per capita do Brasil, e^* a taxa de câmbio real, Y^* o Índice do PIB mundial, $trend$ a tendência linear.

3.1.7 Demanda de Leite e Derivados

A demanda total ($DT_{l,t}$) de leite possui três componentes: a demanda doméstica por leite fluido ($D_{lf,t}$), a demanda doméstica por leite manufaturado ($D_{lm,t}$) (derivados de leite, medidos em equivalente leite) e as exportações líquidas de leite ($NT_{l,t}$) e derivados (medidos em equivalente leite). Desse modo, as equações foram estimadas da seguinte forma:

$$DT_{l,t} = D_{lf,t} + D_{lm,t} + NT_{l,t}$$

$$D_{lf,t} = f(p_{l,t}, Yc_t, pop)$$

$$D_{lm,t} = f(p_{lm,t}, Yc, trend)$$

$$NT_{u,t} = \begin{cases} f(p_{u,t}, e^*, PR_{lt}), & \text{se } 2018 < t \leq 2030 \\ \text{exógeno} & \text{se } t \leq 2018 \end{cases}$$

sendo p_{lt} preço doméstico de leite, Yc o PIB per capita do Brasil, pop a população do Brasil, $trend$ a tendência, e^* a taxa de câmbio real, PR_{lt} a produção total de leite.

3.2 Oferta

A oferta nacional de cada produto i no período t ($S_{i,k,t}$) é composta pelos estoques iniciais do período t ($IS_{i,k,t}$) e da produção total do mesmo período ($PR_{i,k,t}$). Assim, define-se a oferta total para cada produto em cada ano como sendo:

$$S_{i,t} = IS_{i,t} + PR_{i,t} \quad i = a, c, f, m, r, s$$

$$S_{k,t} = IS_{k,t} + PR_{k,t} \quad k = fs, os, ac, el$$

sendo a o algodão, c a cana-de-açúcar, f o feijão, m o milho, r o arroz, s a soja, fs o farelo de soja, os o óleo de soja, ac o açúcar, el o etanol.

Os estoques iniciais do período t são iguais ao estoque final do período anterior ($FS_{i,k,t-1}$), respeitando a igualdade $IS_{i,k,t} = FS_{i,k,t-1}$.

3.2.1 Produção

A produção nacional é composta pelo somatório das produções individuais de cada uma das seis regiões descritas na seção 2. Sucintamente, a produção nacional pode ser escrita como:

$$PR_{i,t} = \sum_{j=SU}^{MP} PR_{i,j,t} \quad i = a, c, r, s; \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

$$PR_{m,t} = \sum_{j=SU}^{MP} PR_{m,j,t} + \sum_{j=SU}^{MP} PR_{m_{ss},j,t}$$

$$PR_{f,t} = \sum_{j=SU}^{MP} PR_{f,j,t} + \sum_{j=SU}^{MP} PR_{f_{ss},j,t}$$

$$PR_{k,t} = \sum_{j=SU}^{MP} PR_{k,j,t} \quad k = cb, cf, cs, lt$$

sendo PR_i a produção do produto i , a o algodão, c a cana-de-açúcar, f o feijão, m o milho, r o arroz, s a soja, m_{ss} o milho de segunda safra, f_{ss} o feijão de segunda safra, cb é carne bovina, cf é carne frango e cs é carne suína, lt é leite total, SU a região Sul, SD a região Sudeste, CO a região Centro-Oeste Cerrado, AM a região Norte Amazônia, NL a região Nordeste Litorâneo, MP a região MAPITO e Bahia.

A produção de cada produto agrícola em cada uma das regiões pode ser calculada como:

$$PR_{i,j,t} = A_{i,j,t} \times y_{i,j,t} \quad i = a, c, f, m, r, s; \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

$$PR_{m_{ss},j,t} = A_{m_{ss},j,t} \times y_{m_{ss},j,t}$$

$$PR_{f_{ss},j,t} = A_{f_{ss},j,t} \times y_{f_{ss},j,t}$$

sendo que $A_{i,j,t}$ e $y_{i,j,t}$ representam a área e produtividade da cultura i , m_{ss} o milho segunda safra, f_{ss} o feijão segunda safra, na região j e no período t

A produtividade é uma tendência temporal estimada com base no comportamento passado de cada produto. Dessa maneira, a produtividade é projetada em função da tendência linear (*trend*):

$$y_{i,j,t} = f(\text{trend}) \quad i = a, c, f, m, r, s$$

3.2.1.1 Produção de milho, soja, algodão, arroz e feijão

A produção brasileira de grãos é estimada a partir da soma da produção em cada região, sendo esse resultado das projeções de produtividade e área utilizada para cada cultura em cada uma das seis regiões consideradas no modelo, representado pela equação abaixo:

$$PR_{i,t} = \sum_{j=SU}^{MP} A_{i,t}, y_{i,t} \quad i = a, c, f, m, r, s$$

sendo $A_{i,t}$ a área utilizada para cada cultura no tempo t e $y_{i,t}$ a produtividade desta cultura nesse mesmo período e para a região considerada.

Algumas particularidades são descritas a seguir: produção de farelo de soja e de óleo de soja.

3.2.1.1.1 Produção de Farelo de Soja

A produção brasileira de farelo de soja é determinada pela proporção de farelo decorrente do esmagamento, ou seja,

$$PR_{fs,t} = 0,77 \times Es$$

sendo Es o esmagamento de soja em grão.

3.2.1.1.2 Produção de Óleo de Soja

Assim como o farelo a produção de farelo de soja é determinada pela proporção de óleo decorrente do esmagamento de soja em grão (Es), ou seja,

$$PR_{os,t} = 0,19 \times Es$$

3.2.1.1.3 Produção de Açúcar e Etanol

A modelagem da produção de açúcar e etanol está diretamente relacionada à produção de cana-de-açúcar. Por um lado, a quantidade produzida de cana-de-açúcar determina a quantidade de Açúcares Totais Recuperáveis (*ATR*) que podem ser convertidos em açúcar e etanol. No caminho inverso, o preço da cana-de-açúcar é determinado pelo preço de seus principais produtos: açúcar e etanol. Embora o modelo reconheça os demais usos da cana de açúcar (tais como energia elétrica, água ardente, bio-plástico etc.) eles não foram explicitamente modelados.

A quantidade de cana-de-açúcar dedicada à produção do complexo sucroalcooleiro é uma fração da quantidade total de cana-de-açúcar produzida em cada região ($PRC_{j,t}$). A proporção de cana processada nas usinas é obtida com base na observação empírica e mantida constante a partir da safra 2008/09, de acordo com a seguinte equação:

$$PRC_{el,j,t} + PRC_{ac,j,t} = PRC_{j,t} \times \phi_j \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

sendo ϕ uma constante com valor contido no intervalo $[0, 1]$ e $t > 2008$.

A quantidade de açúcar e etanol produzidos é calculada nacionalmente. A quantidade de cana-de-açúcar que será processada nas usinas é transformada em *ATR* por um índice de produtividade que representa a quantidade média de *ATR* por tonelada de cana no Brasil ($y_{ATR,t}$). É considerada uma taxa de crescimento da produtividade de modo que:

$$y_{ATR,t} = f(trend)$$

A quantidade total de *ATR* processada nas usinas pode ser então escrita como:

$$PR_{ATR,el,t} + PR_{ATR,ac,t} = PRC_{c,t} \times \phi_j \times y_{ATR,t}$$

Todo o *ATR* processado no complexo sucroalcooleiro é direcionado para a produção alternativa de açúcar e etanol. A parcela do *ATR* dedicada à produção de etanol ($ShATR_{el,t}$) é definida pela relação entre preço do etanol ($p_{el,t}$) e açúcar ($p_{ac,t}$), de modo que:

$$ShATR_{el,t} = f(p_{el,t}, p_{ac,t}) \quad e$$

$$ShATR_{ac,t} = 1 - ShATR_{el,t}$$

Mais especificamente, a equação selecionada para representar a decisão do usineiro entre produzir açúcar e etanol foi obtida por regressão linear, tendo como base os dados anuais de preço de açúcar e etanol (disponibilizado pelo CEPEA)⁸ e participação de cada produto no ATR total calculado pelo ICONE, com base nos dados de produção de açúcar etanol disponibilizados pela UNICA. A equação de decisão do usineiro foi assim definida como:

$$ShATR_{el,t} = 0,062 + 0,299*(p_{el,t}/p_{ac,t}),$$

onde $p_{el,t}$ representa o preço por litro de etanol anidro e $p_{ac,t}$ é o preço do quilo de açúcar para exportação, ambos ao produtor e no estado de São Paulo.

A quantidade total de açúcar é obtida pela quantidade total de *ATR* dedicada à produção de açúcar multiplicada por um índice técnico que reflete índices de produtividade industrial para a conversão de *ATR* em açúcar, sendo a produção total de etanol calculada da mesma forma. A produção de açúcar e etanol é escrita como:

$$PR_{ac,t} = f(PR_{c,t}, \phi, ShATR_{ac,t}, y_{ATR,t}, \psi_{ac})$$

$$PR_{el,t} = f(PR_{c,t}, \phi, ShATR_{el,t}, y_{ATR,t}, \psi_{el})$$

sendo $PR_{c,t}$ produção de cana-de-açúcar no período t , y_{ATR} a produtividade do *ATR* e $ShATR$ a parcela do *ATR* dedicada à produção de etanol e ψ o índice técnico, o qual assume o valor 1,721 para converter litros de etanol em quilos de *ATR* e 1,0474 para converter quilos de açúcar em *ATR*.

O preço do *ATR* (p_{ATR}), por sua vez, é calculado anualmente, em nível nacional, tendo como base o preço do etanol e do açúcar, a participação destes na produção total e os índices de conversão dos dois produtos em *ATR*, de modo que:

⁸ <http://www.cepea.esalq.usp.br/>.

$$P_{ATR} = P_{ac} \times ShATR_{ac,t} / \psi_{ac,t} + P_{el,t} \times ShATR_{el,t} / \psi_{el,t}$$

O preço da cana de açúcar é obtido pela simples multiplicação do preço do *ATR* pela quantidade média de *ATR* por tonelada de cana naquele ano.

3.2.2 Alocação de área

Em cada período, o produtor agrícola toma a decisão da quantidade de área que irá alocar para cada cultura. A decisão é tomada de acordo com a percepção do produtor em relação à rentabilidade esperada de todas as culturas que competem pela mesma área em determinada região e das políticas públicas específicas. Em algumas culturas é razoável pressupor que existe uma dependência temporal, de modo que a área do período atual dependa da área da mesma cultura no período anterior. Isso também serve para evitar grandes oscilações de área alocada para as culturas. Assim, a área plantada de cada cultura *i* na região *j* ($A_{i,j}$) é modelada de acordo com a equação:

$$A_{i,j,t} = f(A_{i,t-1}, ER_{i,j,t}, ER_{i^*,j,t}, \Pi)$$

sendo *E* a expectativa (esperança), $R_{i,j,t}$ a rentabilidade esperada da própria cultura *i*, $R_{i^*,j,t}$ a rentabilidade esperada das demais culturas que competem por terra com *i* e Π as políticas governamentais exógenas.

A rentabilidade esperada de cada cultura é obtida pela seguinte equação:

$$ER_{i,j,t} = EP_{i,j,t} \times Ey_{i,j,t} - EC_{i,j,t} \quad i = a, c, f, m, r, s; \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

sendo *EP* e *EC* representam respectivamente as expectativas do preço e do custo de produção da cultura *i*.

Foram considerados apenas os custos operacionais de produção, sendo estes compostos por custo fixo (*CF*), custo variável (*CV*) e custo de transporte (*CT*). A projeção dos custos é feita em função da produtividade, tendência de desenvolvimento tecnológico e Índice de Preços de Fertilizantes (*IF*), sendo que este é uma função do preço do petróleo. A

razão para utilizar o preço do petróleo é que este compõe o custo de vários insumos agrícolas, tais como combustíveis, defensivos e fertilizantes. Os componentes do custo total foram projetados de acordo com

$$CF_{i,t} = f(\text{trend})$$

$$CV_{i,t} = f(\text{trend}, y_{i,t}, IC_{i,t}) \quad i = a, c, f, m, r, s;$$

$$CT_{i,t} = f(\text{trend}, y_{i,t}, IC_{i,t})$$

sendo *trend* a tendência linear, *y* a produtividade e *IC* o índice de custo de fertilizantes, projetado a partir dos preços de petróleo.

Foi considerado o pressuposto de que os produtores formam suas expectativas de forma racional, porém, com informações limitadas. Embora o produtor agrícola tenha informação plena dos custos de produção (*EC*) e da produtividade (*y*), no momento da tomada de decisão do plantio, ele desconhece o preço pelo qual cada produto será comercializado. Dessa forma, o preço esperado para o período seguinte é exatamente igual ao observado no período atual, ou seja:

$$E y_{i,j,t} = y_{i,j,t} \quad i = a, c, f, m, r, s \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

$$E C_{i,j,t} = C_{i,j,t}$$

$$E(p_{t+1}) = p_t$$

Por sua vez, em cada região, o preço de cada produto ($p_{i,j}$) percebido pelo produtor local é uma função do preço de referência nacional. Dessa forma, para cada produto e região, foi estimada uma função de transmissão de preços da forma:

$$p_{i,j,t} = f(p_{i,t}) \quad i = a, c, f, m, r, s \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

onde p_i é o preço de referência para o produto *i*.

As próximas seções tratam especificamente da oferta de cada produto analisado no modelo de uso da terra do ICONE.

3.2.2.1 Alocação de Área de Grãos

A área alocada para grãos em cada região em um determinado período t é determinada em função de uma tendência, da área alocada para essa mesma cultura no período $t-1$ e das rentabilidades da própria cultura e das culturas que competem por área nessa mesma região.

Milho

As equações de milho para as 6 regiões consideradas, são descritas a seguir:

$$A_{m,SU,t} = f(A_{m,SU,t-1}, R_{m,SU,t}, R_{s,SU,t}, R_{c,SU,t}, trend)$$

$$A_{m,SD,t} = f(A_{m,SD,t-1}, R_{m,SD,t}, R_{s,SD,t}, R_{c,SD,t})$$

$$A_{m,CO,t} = f(R_{m,CO,t}, R_{s,CO,t}, R_{a,CO,t}, R_{c,CO,t})$$

$$A_{m,AM,t} = f(A_{m,AM,t-1}, R_{m,AM,t}, R_{s,AM,t})$$

$$A_{m,NL,t} = f(A_{m,NL,t-1}, R_{m,NL,t})$$

$$A_{m,MP,t} = f(A_{m,MP,t-1}, R_{m,NL,t}, R_{s,MP,t}, R_{a,MP,t}, R_{f,MP,t})$$

sendo $A_{m,t-1}$ a área de milho em cada uma das respectivas regiões no período $t-1$ e R_m , R_s , R_a , R_c , R_f as respectivas rentabilidades do milho, soja, algodão e cana-de-açúcar no período t .

Soja

A soja compete basicamente com o milho e com a cana-de-açúcar na alocação de área nas respectivas regiões sendo essas descritas a seguir:

$$A_{s,SU,t} = f(A_{s,SU,t-1}, R_{s,SU,t}, R_{m,SU,t}, R_{c,SD,t}, trend)$$

$$A_{s,SD,t} = f(A_{s,SD,t-1}, R_{s,SD,t}, R_{m,SD,t}, R_{c,SD,t}, trend)$$

$$A_{s,CO,t} = f(A_{s,CO,t-1}, R_{s,CO,t}, R_{m,CO,t}, R_{a,CO,t}, R_{c,CO,t}, trend)$$

$$A_{s,AM,t} = f(R_{s,AM,t}, R_{m,AM,t}, trend)$$

$$A_{s,MP,t} = f(R_{s,MP,t}, R_{m,MP,t}, R_{a,MP,t})$$

sendo $A_{s,t-1}$ a área de soja em cada uma das respectivas regiões no tempo $t-1$ e $R_{s,t}$, $R_{m,t}$, $R_{a,t}$, $R_{c,t}$ as respectivas rentabilidades da soja, do milho, do algodão e da cana-de-açúcar no período t .

Algodão

O algodão compete por área principalmente com o milho e com a soja, conforme observado nas equações a seguir:

$$A_{a,SU,t} = f(A_{a,SU,t-1}, R_{a,SU,t})$$

$$A_{a,SD,t} = f(A_{a,SD,t-1}, R_{a,SD,t})$$

$$A_{a,CO,t} = f(A_{a,CO,t-1}, R_{a,CO,t}, R_{m,CO,t}, R_{s,CO,t}, trend)$$

$$A_{a,AM,t} = f(A_{a,AM,t-1}, R_{a,AM,t}, R_{m,AM,t}, R_{s,AM,t})$$

$$A_{a,NL,t} = f(A_{a,NL,t-1}, R_{a,NL,t})$$

$$A_{a,MP,t} = f(A_{a,MP,t-1}, R_{a,AM,t}, R_{m,AM,t}, R_{s,AM,t}, R_{r,AM,t}, R_{f,AM,t}, trend)$$

sendo $A_{a,t-1}$ a área de algodão em cada uma das respectivas regiões no tempo $t-1$ e R_a , R_m , R_s , R_r , R_f as respectivas rentabilidades do algodão, milho, soja, arroz e feijão no período t .

Arroz

Assim como o algodão, o arroz compete por área principalmente com o milho e com a soja, conforme observado nas equações a seguir:

$$A_{r,SU,t} = f(A_{r,SU,t-1}, R_{a,SU,t})$$

$$A_{r,SD,t} = f(A_{r,SD,t-1}, R_{r,SD,t})$$

$$A_{r,CO,t} = f(A_{r,CO,t-1}, R_{r,CO,t}, R_{m,CO,t})$$

$$A_{r,AM,t} = f(A_{r,AM,t-1}, R_{r,AM,t}, R_{m,AM,t}, R_{s,AM,t})$$

$$A_{r,NL,t} = f(A_{r,NL,t-1}, R_{r,NL,t})$$

$$A_{r,MP,t} = f(A_{r,MP,t-1}, R_{r,MP,t}, R_{m,MP,t}, R_{s,MP,t})$$

sendo $A_{r,t-1}$ a área de arroz em cada uma das respectivas regiões no tempo $t-1$ e R_r , $R_{m,t}$, $R_{s,t}$, as respectivas rentabilidades do arroz, milho e soja no período t .

Feijão

O feijão compete por área com o milho, soja e arroz em todas as regiões, segundo a equação abaixo:

$$A_{f,j,t} = f(A_{f,j,t-1}, R_{f,j,t}, R_{m,j,t}, R_{s,j,t}, R_{r,j,t}) \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$$

sendo $A_{f,t-1}$ a área de feijão em cada uma das respectivas regiões no tempo $t-1$ e R_f , $R_{m,t}$, $R_{s,t}$, $R_{r,t}$, as respectivas rentabilidades do feijão, milho, soja e arroz no período t .

3.2.3 Oferta de Carne Bovina

A produção de carne brasileira é obtida através da estimação da produção de carne por região, sendo esta resultante das projeções de rebanho, do abate e do peso médio no abate. A projeção de rebanho e abate é feita por categoria (vacas de corte, vacas leiteiras, bezeros e outros animais) e para cada uma das seis regiões consideradas no modelo. A área de pastagens é tratada no módulo de alocação de terra para agropecuária. Cada item é explicado com mais detalhes a seguir.

3.2.3.1 Projeções da Bovinocultura: Rebanho, Abate, Peso Médio no Abate

A série histórica de 1996 a 2006 do rebanho por categoria foi calculada utilizando o rebanho estratificado do Censo 1996 e, ainda, um modelo simples de população com hipóteses sobre os coeficientes técnicos (taxas de natalidade e mortalidade, idade média no abate, taxa de desfrute etc.). O modelo utilizou os dados da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) para o rebanho total, da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a produção de carne bovina e de fontes externas para as variáveis econômicas. A projeção de rebanho é feita por categoria de animal e por região com base em equações estimadas a partir de regressões lineares e tem como variáveis explicativas o estoque de animais e variáveis econômicas (basicamente a rentabilidade da pecuária).

O rebanho total no Brasil é proveniente da somatória do rebanho total por região, da seguinte forma:

$$CH_t = \sum_{j=SU}^{MP} CH_{j,t} \quad j = SU, SD, CO, AM, NL, MP; SU$$

sendo *SU* a região Sul, *SD* a região Sudeste, *CO* a região Centro-Oeste, *AM* a região Norte Amazônica, *NL* a região Nordeste Litorâneo, *MP* a região MAPITO e Bahia.

O rebanho total (*CH*) por região é calculado como descrito a seguir:

$$CH_{j,t} = CH_{j,t-1} - AB_{j,t} - loss_{j,t} + CH_{bz,j,t}$$

sendo: *AB* o abate total, *loss* a mortalidade do rebanho, *CH_{bz}* o rebanho total de bezerros.

O rebanho total de bezerros por região (*CH_{bz,j}*) é estimado em função do rebanho total de fêmeas (vacas leiteiras e vacas de corte), rentabilidade da pecuária de corte e uma tendência. Utilizou-se a tendência como *proxy* do ganho de produtividade do rebanho bovino, baseado em índices zootécnicos. Assim, o rebanho de bezerros foi estimado a partir da seguinte equação:

$$CH_{bz,j,t} = f(CH_{vc,j,t}, CH_{vl,j,t}, R_{pc,j,t-1}, trend)$$

sendo *CH_{vc}* o rebanho total de vacas de corte, *CH_{vl}* o rebanho total de vacas leiteiras, *R_{pc}* a rentabilidade da pecuária de corte, *trend* a tendência.

A rentabilidade da pecuária de corte é calculada a partir das estimativas de receita e custos operacionais. A série histórica de receita operacional foi calculada por região pela SCOT Consultoria, com base nos preços médios recebido pelo produtor e pelo grau de intensificação da pecuária em cada região. A projeção da receita operacional foi feita a partir de uma regressão em função do preço médio recebido pelo produtor estimado. A série de custos operacionais também foi fornecida pela SCOT Consultoria, sendo uma ponderação de diferentes níveis de tecnologia em cada região. As projeções de custos são função do Índice de Preços de Fertilizantes. Esta variável foi escolhida por ter sido considerada a melhor *proxy* que explica a evolução dos custos operacionais da pecuária de corte.

O rebanho de vacas de corte (CH_{vc}) é estimado em relação ao rebanho de vacas de corte no período anterior e à rentabilidade, como se observa na equação abaixo:

$$CH_{vc,j,t} = f(CH_{vc,j,t-1}, R_{pc,j,t}, R_{pc,j,t-1})$$

sendo R_{pc} a rentabilidade da pecuária de corte.

Para o rebanho de vacas leiteiras (CH_{vl}), a série histórica é proveniente do número de vacas ordenhadas da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), do IBGE. A projeção depende do rebanho leiteiro no período anterior e da rentabilidade da pecuária leiteira. Esta é proveniente da diferença do preço de leite estimado e do custo de produção por litro de leite projetado. A projeção do custo de produção de leite é função do preço de milho estimado (65%) e do preço do farelo de soja (35%). Assim, tem-se a seguinte equação para o rebanho de vacas leiteiras:

$$CH_{vl,j,t} = f(CH_{vl,j,t-1}, R_{pl,j,t-1})$$

sendo R_{pl} a rentabilidade da pecuária de leite.

Para construir o rebanho total é necessário atribuir uma taxa de mortalidade ao rebanho. No modelo desenvolvido pelo ICONE, isso foi feito a partir de estimativas de regressões lineares, em função do rebanho total, sendo o parâmetro desta variável diferente entre as regiões, de acordo com os padrões históricos das mesmas.

Além das variáveis descritas anteriormente (rebanho de vacas leiteiras e de corte, rebanho de bezerros, mortalidade do rebanho), para se ter o rebanho total e a produção de carne bovina, é necessário estimar o abate de animais. Este está dividido em três categorias: abate de bezerros, abate de fêmeas e abate de outros animais.

O peso médio de abate para bezerros, em equivalente carcaça, foi fixado em 0,0815 toneladas em equivalente carcaça por animal abatido, o abate de bezerros (AB_{bz}) é estimado da seguinte forma:

$$AB_{bz,j,t} = f(p_{lt,j,t}, CH_{bz,j,t})$$

sendo CH_{bz} o rebanho total de bezerros, p_{lt} o preço médio de leite ao produtor.

O abate de fêmeas é de grande importância na determinação da evolução do rebanho, pois elas são responsáveis pela reposição de animais e, muitas vezes, pelo ciclo da pecuária. Este ciclo se refere às oscilações do rebanho bovino total, pois dependendo do abate de fêmeas, a reposição de animais é afetada. No Brasil, este ciclo normalmente ocorre a cada quatro ou seis anos, podendo durar de dois a quatro anos. Grande parte da explicação deste ciclo se volta à análise da rentabilidade da pecuária de corte, pois quanto menor a rentabilidade, o produtor decide por descartar um maior número de matrizes, reduzindo o número de bezerros nascidos e, assim, o rebanho total dos próximos anos. Deste modo, o abate de fêmeas de vacas de corte e leiteiras ($AB_{vc} + AB_{vl}$) foi estimado a partir da seguinte equação:

$$(AB_{vc,j,t} + AB_{vl,j,t}) = f(R_{pc,j,t}, CH_{vc,j,t-1}, CH_{vl,j,t-1})$$

sendo CH_{vc} o rebanho de vacas de corte, CH_{vl} o rebanho de vacas leiteiras, R_{pc} a rentabilidade da pecuária de corte.

Similarmente aos bezerros, o peso no abate de fêmeas foi fixado em 0,1802 toneladas equivalente-carcaça por fêmea abatida.

Para completar o abate total, foi estimada uma regressão do abate por região para todas as outras categorias de animais do rebanho bovino (AB_{ot}), exceto bezerros e fêmeas, como descritos nas seguintes equações:

$$AB_{ot,j,t} = f(R_{pc,j,t}, CH_{ot,j,t}, trend)$$

sendo R_{pc} a rentabilidade da pecuária de corte, $trend$ a tendência e CH_{ot} o rebanho de outros animais, conforme descrito na equação abaixo:

$$CH_{ot,j,t} = CH_{j,t} - CH_{vc,j,t} - CH_{vl,j,t} - CH_{bz,j,t}$$

sendo CH_{vc} o rebanho de vacas de corte, CH_{vl} o rebanho de vacas leiteira e CH_{bz} o rebanho de bezerros.

O peso médio no abate para a categoria outros animais (SW_{ot}) foi estimado a partir da seguinte equação:

$$SW_{ot,j,t} = f(SW_{ot,j,t-1}, R_{pc,j,t})$$

sendo R_{pc} a rentabilidade da pecuária de corte.

A partir das equações descritas acima, a produção de carne bovina é calculada como o somatório do produto do número de animais abatidos e do peso médio de abate por categoria e por região. O modelo de pecuária bovina estará em equilíbrio se a oferta total de carne coincidir com a demanda total, sendo o preço recebido pelo produtor de bovinos que se ajusta a fim de se obter o equilíbrio econômico.

Determinada a quantidade produzida de carne bovina e de leite, existe uma interação entre estas e as demandas de milho ($GCAU_{pc,pl,t}$) e de farelo de soja ($HPAU_{pc,pl,t}$), que irão compor a demanda doméstica de rações destes produtos, como citado anteriormente. No caso do farelo de soja, foi estipulado coeficientes fixos de consumo, sendo de 0,0124 quilogramas de farelo de soja para cada quilograma de carne bovina produzida e de 0,0218 quilogramas de farelo de soja para cada quilograma de leite produzido. No caso do consumo de milho para ração de bovinos de corte e de leite, foram feitas regressões, conforme descrito abaixo:

$$GCAU_{pc,t} = f(S_{cb,t}, P_{m,t}, trend)$$

$$GCAU_{pl,t} = f(S_{lt}, P_{m,t}, trend)$$

sendo S_{cb} a oferta de carne bovina, S_{lt} a oferta de leite, P_m o preço do milho (Brasil), $trend$ a tendência linear.

A determinação da área alocada para pastagens foi feito de forma separada a este modelo de pecuária bovina, sendo tratado a seguir.

3.2.4 Área de Pastagens

Em relação às áreas de pastagens, o primeiro desafio se deu ao calcular as áreas corretas para 1996 e 2006 e estimar a evolução dessas áreas entre 1996 e 2006. Com base na análise da UFMG (a partir de dados georreferenciados e utilizando também os dados do Censo Agropecuário de 1996 e de 2006, as áreas de pastagens foram calculadas para estes anos. Essa análise foi feita por estado, sendo escolhido o melhor critério em cada caso.

A evolução da área de pasto para cada uma das seis regiões analisadas foi feita com base em regressões que utilizaram como variáveis explicativas a área de pasto do período anterior e o rebanho total da Pesquisa Pecuária Municipal. Este critério foi escolhido por ter se observado que o mesmo foi adequado para estimar a área de pasto para o estado de São Paulo que possui dados históricos anuais de pastagens no Instituto de Economia Agrícola (IEA).

Uma vez estimados os parâmetros para o estado de SP, estes foram adaptados para as regiões deste estudo, obtendo-se uma evolução da área de pastagens coerente com os valores de 1996 e 2006.

As projeções das áreas de pastagens foram feitas a partir de regressões com base no conceito de competição por terra entre as principais culturas do Brasil. Assim, para projetar a área de pastagens foram consideradas as áreas alocadas para cada cultura (milho, soja, arroz, feijão, cana-de-açúcar) e o rebanho total em cada região, considerando o padrão de competição específico para cada região. A idéia aqui é verificar como ocorre a competição entre o crescimento do rebanho (relação positiva com a área de pasto) e a área das culturas que competem por terra (relação negativa com a área de pasto), resultando no saldo final para a área de pastagens.

Com base na matriz de competição por terra descrita na Figura 2 foram feitas algumas adaptações devido a problemas nas estimativas econométricas, tais como multicolinearidade entre as variáveis explicativas e autocorrelação dos resíduos. Isso ocorreu, por exemplo, para as culturas de milho e soja, optando-se por somar as duas áreas em uma única variável. Outro fator importante de decisão das variáveis explicativas é a não significância estatística do parâmetro estimado, sendo excluídas as variáveis que apresentaram tal resultado.

Dessa forma, foram estimadas regressões lineares para a área de pasto para cada uma das seis regiões do modelo ($A_{b,j}$), como descrito abaixo:

$$A_{b,SU,t} = f\left(CH_{SU,t}, (A_{m,SU,t} + A_{s,SU,t}), A_{r,SU,t}, A_{c,SU,t}, A_{f,SU,t}\right)$$

$$A_{b,SD,t} = f\left(CH_{SD,t}, (A_{m,SD,t} + A_{s,SD,t}), A_{c,SD,t}, A_{f,SD,t}\right)$$

$$A_{b,CO,t} = f\left(CH_{CO,t}, (A_{m,CO,t} + A_{s,CO,t}), A_{a,CO,t}, A_{c,CO,t}, A_{f,CO,t}\right)$$

$$A_{b,AM,t} = f\left(CH_{AM,t}, (A_{m,AM,t} + A_{s,AM,t}), A_{r,AM,t}, A_{f,AM,t}\right)$$

$$A_{b,NL,t} = f(CH_{NL,t}, A_{c,NL,t}, A_{f,NL,t})$$

$$A_{b,MP,t} = f(CH_{MP,t}, (A_{m,MP,t} + A_{s,MP,t}), A_{a,MP,t}, A_{r,MP,t}, A_{f,MP,t})$$

sendo $A_{m,j}$ área de milho, $A_{s,j}$ área de soja, $A_{a,j}$ área de algodão, $A_{c,j}$ área de cana-de-açúcar, $A_{f,j}$ área de feijão, $A_{r,j}$ área de arroz, $j = SU, SD, CO, AM, NL, MP$.

Conforme a dinâmica do modelo de uso da terra do ICONE, primeiramente são projetadas as áreas das culturas que competem por terra e o rebanho, ambos por região, e, assim, têm-se a projeção das áreas de pastagens por região. Outro importante ponto se refere à taxa de lotação, que é resultado neste modelo, proveniente do resultado das projeções de rebanho e área de pastagens.

3.2.5 Oferta de Carne de Frango e Ovos

Enquanto a demanda por carne de frango é estimada nacionalmente, assim como para todos os outros produtos, a oferta de carne de frango e de ovos é regional. A produção de frango regional (S_{fr}) foi estimada em função da produção de frango do período anterior, do preço do frango ao produtor, uma tendência linear e do Índice de Custos, formado pelas respectivas participações de milho e farelo de soja na composição da ração da avicultura. De forma similar, a oferta de ovos (S_{ov}) foi estimada em função da produção de ovos do período anterior, de uma tendência linear e do preço de ovos ao produtor e do Índice de Custos (idêntico ao de carne de frango). Assim, as seguintes equações foram estimadas:

$$S_{fr,j,t} = f(S_{fr,j,t-1}, p_{fr,j,t}, IC_{fr,j,t}, trend)$$

$$S_{ov,j,t} = f(S_{ov,j,t-1}, p_{ov,j,t}, IC_{fr,j,t}, trend)$$

sendo p_{fr} o preço do frango ao produtor, IC_{fr} o Índice de Custos de frango, $trend$ a tendência linear e p_{ov} o preço de ovos ao produtor.

A oferta de frango e de ovos no Brasil é calculada pela soma da produção de todas as regiões do modelo. O equilíbrio de mercado é atingido quando se atinge um preço ao produtor que faz a oferta total se igualar à demanda total de cada um dos produtos no Brasil.

Assim como no caso da carne bovina, a produção de frango também determinará as quantidades demandas de milho e farelo de soja para ração animal ($GCAU_{fr}$ e $GCAU_{ov}$). O modelo considerou que para cada quilograma de frango produzida, os animais se alimentam de 0,6119 quilogramas de farelo de soja. No caso do milho, estimaram-se as seguintes regressões:

$$GCAU_{fr,t} = f(S_{fr,t}, p_{m,t})$$

$$GCAU_{ov,t} = f(S_{ov,t}, p_{m,t})$$

sendo S_{fr} a oferta brasileira de carne de frango e S_{ov} a oferta brasileira de ovos.

3.2.6 Oferta de Carne Suína

A oferta de carne suína possui uma estrutura similar à oferta de carne bovina. Também neste caso foram feitas projeções de rebanho, de abate e de peso médio de abate de suínos, todos por categoria e por região. Para se ter as séries históricas de rebanho, de abate e de peso médio por categoria e por região, foram utilizados dados da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE e da Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (ABIPECS).

A projeção de rebanho e abate de suínos (CS_{ss} e AS_{ss}) por categoria foram feitas com base em regressões lineares, contendo como variáveis explicativas, de modo geral, o rebanho ou abate do período anterior, o preço de suíno ao produtor, uma tendência linear e o Índice de Custo para suínos (média ponderada dos preços de milho e farelo de soja considerando suas respectivas participações na composição da ração de suínos), tais como descrevem as equações abaixo:

$$CS_{ss,j,t} = f(CS_{ss,j,t-1}, p_{cs,j,t}, IC_{cs,j,t-1}, trend)$$

$$CS_{pc,j,t} = f(CS_{ss,j,t-1}, trend)$$

$$AS_{ss,j,t} = f(p_{cs,j,t}, IC_{cs,j,t-1}, trend)$$

$$AS_{ss,j,t} = f(CS_{pc,j,t-1}, p_{cs,j,t}, IC_{cs,j,t-1}, trend)$$

onde p_{cs} é o preço recebido pelo produtor de suínos, IC_{cs} o Índice de Custo de suínos, CS_{pc} o rebanho de leitões e leitoas, $trend$ a tendência linear.

A mortalidade de suínos ($loss_{cs}$) foi estimada em função do rebanho total de suínos (CS) e de uma tendência linear ($trend$):

$$loss_{cs,j,t} = f(CS_{j,t}, trend)$$

O peso médio de abate para as matrizes foi fixado em 0,1180 toneladas e o peso médio no abate de leitões e leitoas (WS_{pc}) foi estimado em função do peso médio do período anterior, do preço de suínos ao produtor (p_{cs}) e do Índice de Custo de suínos (IC_{cs}), a partir da seguinte regressão:

$$WS_{pc,j,t} = f(WS_{pc,j,t-1}, p_{cs,j,t}, IC_{cs,j,t-1})$$

Dessa forma, a produção de carne suína é calculada pela multiplicação do abate de suínos por categoria e seus respectivos pesos médios de abate, sendo a produção brasileira de carne suína resultante da soma da produção regional da mesma. O equilíbrio de mercado acontece quando se encontra um preço de suínos que iguala a oferta total e a demanda total de carne suína para o Brasil.

A demanda por rações da suinocultura ($GCAU_{cs}$) é estimada de maneira similar ao caso do frango, sendo fixado um coeficiente de 0,8187 quilogramas de consumo de farelo de soja por quilograma de carne suína produzida e estimando uma regressão para o consumo de milho, em função do preço do milho e da produção de carne suína, como descrito abaixo:

$$GCAU_{cs,t} = f(S_{cs,t}, p_{m,t})$$

sendo S_{cs} a oferta total de carne suína.

4 DADOS UTILIZADOS

As projeções de uso da terra para agricultura e pecuária foram feitas a partir do Modelo do ICONE de Projeção de Uso da Terra, que é um modelo econométrico que opera em dois níveis: oferta e demanda nacionais de cada produto final e oferta e área alocada regionais para os produtos agrícolas. Isso significa que um conjunto de parâmetros foi estimado a partir de uma base de dados temporal. Em linhas gerais, os parâmetros são elasticidade preço e renda da demanda, elasticidade preço da oferta e elasticidade cruzada.

Uma das decisões metodológicas foi a escolha e seleção dos produtos cobertos pelo Modelo ICONE, tendo em vista que seria impossível determinar quadros de oferta e demanda para todos os produtos agrícolas do Brasil e que existe uma concentração do uso de terra em alguns produtos. A tabela 3 apresenta a série de dados de uso da terra para os produtos cobertos pelo modelo.

Tabela 3 - Brasil: Área Alocada e Produção dos Produtos Cobertos pelo Modelo ICONE

| | Área Alocada (ha) | | | Produção (1.000 ton.) | | |
|----------------------|-------------------|---------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Algodão | 844 | 1,080 | 1,066 | 2,724 | 3,899 | 4,108 |
| Arroz | 3,018 | 2,967 | 2,881 | 11,722 | 11,316 | 12,108 |
| Feijão - 1 safra | 2,694 | 3,052 | 2,857 | 1,893 | 2,106 | 1,991 |
| Feijão - 2 safra | 1,529 | 1,035 | 1,143 | 1,578 | 1,234 | 1,523 |
| Milho - 1 safra | 9,632 | 9,421 | 9,656 | 31,332 | 36,311 | 39,922 |
| Milho Safrinha | 3,332 | 4,634 | 5,052 | 11,183 | 15,059 | 18,664 |
| Soja | 22,749 | 20,687 | 21,334 | 55,026 | 58,392 | 60,052 |
| Cana-de-açúcar | 6,179 | 6,964 | 8,235 | 457,246 | 549,905 | 687,758 |
| Floresta de Produção | 5,269 | 5,455 | 5,874 | n.a. | n.a. | n.a. |
| Pastagens | 208,889 | 206,323 | 205,381 | n.a. | n.a. | n.a. |
| Total | 264,136 | 261,618 | 263,479 | n.a. | n.a. | n.a. |

Fonte: IBGE; CONAB; UFMG/ICONE/EMBRAPA

Nota: n.a.: não aplicável.

A base de dados contendo as informações de área e produção cobre o período de 1996 a 2008 e foi construída com dados em nível municipal. Os resultados da modelagem, é importante dizer, foram tabulados em nível das microrregiões do IBGE. O Modelo ICONE,

por sua vez, está estruturado em 6 regiões definidas por sua relevância na produção agrícola, pecuária e florestal.

Os dados de pastagens necessitam de uma explicação adicional. O cálculo da área de pastagem por sensoriamento remoto feito pela UFMG foi baseada nas informações dos Projetos PRODES (INPE), PROBIO e SOS Mata Atlântica. Assim, no caso do modelo de uso de terra, esses dados foram contabilizados no ano de 2006 para que fosse possível fazer uma comparação com os dados preliminares do Censo Agropecuário de 2006. Essa comparação é apresentada na Tabela 2-1. A comparação entre os dados de pastagens do Censo de 2006 e da análise da UFMG foi necessária porque a análise da UFMG cobriu as regiões de Mata Atlântica, Cerrados e Amazônia, porém não incluiu os biomas Pampa, Caatinga e Pantanal. Embora estes últimos três biomas também sejam regiões de produção agrícola e pecuária, são regiões onde a área ocupada com atividades produtivas não está se expandindo. Assim, não havia porque calcular a área disponível para expansão nestas três regiões.

No entanto, tendo em vista a decisão de usar os dados de pastagens resultantes da análise da UFMG, justificada pelo fato do Censo de 2006 ser ainda preliminar, foi necessária fazer uma combinação entre ambos porque a análise da UFMG não cobriu todo o território brasileiro. Assim, a regra geral definida pela equipe (ICONE, UFMG e Embrapa) foi utilizar os dados da UFMG nas regiões de Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia, e os dados do Censo de 2006 para as regiões localizadas nos biomas Pampa, Caatinga e Pantanal.

A necessidade de utilizar essa metodologia combinada decorre do Modelo ICONE que foi programado para projetar uso da terra em todo o território brasileiro. No caso deste modelo, era necessário não somente possuir dados de área de pastagem de 1996 e 2006, mas também construir uma série de tempo de 1996 a 2008, a partir dos dois anos de dados conhecidos. A evolução da área de pasto para cada uma das seis regiões analisadas foi feita com base em regressões que utilizaram como variáveis explicativas a área de pasto do período anterior e o rebanho total da Pesquisa Pecuária Municipal do IBGE. Este critério foi escolhido por ter se observado que o mesmo foi adequado para estimar a área de pasto para o estado de São Paulo, que possui dados históricos anuais de pastagens feitos pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA). Uma vez estimados os parâmetros para o estado de SP, estes foram adaptados para as regiões deste estudo, obtendo-se uma evolução da área de pastagens coerente com os valores de 1996 e 2006.

É importante mencionar também o trabalho de compatibilização dos dados de projeções de etanol feito em conjunto pelas equipes dos Temas E (ICONE), F (Centro de Energias Alternativas de Fortaleza) e K (UNICAMP). Especificamente no caso do modelo de uso da terra, os Temas F e K forneceram duas informações que foram incorporadas de forma exógena no cálculo das projeções de área ocupada com cana-de-açúcar: exportações brasileiras de etanol no cenário de baixo carbono; produção de etanol de segunda geração a partir do uso do bagaço da cana-de-açúcar, também no cenário de baixo carbono. Além disso, a equipe do Tema F deu suporte ao ICONE na preparação dos dados de projeções de produtividade da cana-de-açúcar e ganhos graduais de ATR (açúcar total recuperado).

A Figura 6 sintetiza as fontes de dados e informações utilizadas no modelo de uso da terra do ICONE.

| Fonte | Dados utilizados | Referência |
|--|---|--|
| Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE | Rebanho bovino, rebanho suíno, abate de aves, suínos e bovinos. Estimativa de população | www.ibge.gov.br |
| Companhia Nacional do Abastecimento - CONAB | Área plantada, área colhida, preços, custos, quadro de suprimentos (balanço de oferta e demanda). | www.conab.gov.br |
| Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - Embrapa | Preços e produção de suínos e aves | www.embrapa.gov.br |
| Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio - MDIC | Dados de comércio internacional | www.mdic.gov.br |
| Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA | Dados macroeconômicos do Brasil e do setor agropecuário | www.ipeadata.gov.br |
| Centro de Estudos e Avançados em Economia Aplicada - CEPEA | Acompanhamento de preços e custos | www.cepea.esalq.usp.br |
| Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES | Dados de crédito e investimentos no setor sucroalcooleiro | www.bndes.gov.br |
| Agroconsult | Custos e produtividades das lavouras, usinas de cana-de-açúcar | www.agroconsult.com.br (Fábio Meneghin) |
| Scot Consultoria | Estratificação do rebanho bovino, abate de bovinos, preços e rentabilidades da pecuária | www.scotconsultoria.com.br (Maurício de Palma Nogueira) |
| União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA | Mercado de açúcar e álcool | www.unica.com.br |
| Associação Nacional dos Fabricados de Veículos Automotores - ANFAVEA | Vendas anuais de veículos por tipo de combustível, curva de sucateamento | www.anfavea.com.br |
| Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP | Preços de gasolina, diesel, mercado de energia | www.anp.gov.br |
| Food and Agricultural Policy Research Institute - FAPRI | Dados macroeconômicos internacionais e modelagem | www.fapri.org |

| | | |
|---|--|--|
| Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA | Mercado de arroz | www.irga.rs.gov.br |
| Associação Brasileira das Indústrias de Milho - Abimilho | Mercado de milho | www.abimilho.org.br |
| Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE | Mercado de soja | www.abiove.gov.br |
| Sindicato Nacional das Indústrias de Alimentação Animal - SINDIRAÇÕES | Mercado de alimentação animal | www.sindiracoes.org.br |
| Leite Brasil | Dados da pecuária leiteira | www.leitebrasil.org.br |
| União Brasileira de Avicultura - UBA | Dados da avicultura | www.uba.org.br |
| Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína - ABIPECS | Dados da suinocultura | www.abipecs.org.br |
| Empresa de Pesquisa Energética - EPE | Dados do PNE – exportação e consumo de etanol, demanda de biodiesel de soja, PIB Brasil e PIB Mundial e preço do petróleo. | www.epe.gov.br |

Figura 6 – Fontes de dados utilizadas

Fonte: ICONE

5 PROJEÇÕES MACROECONÔMICAS

As projeções de uso da terra estão fundamentadas em um cenário macroeconômico, que fornece as tendências de PIB Mundial, PIB Brasil, população brasileira, inflação, taxa de câmbio e preço do petróleo, para um horizonte de 22 anos, 2009 a 2030 (Tabela 4). Para o cenário de referência, as projeções de PIB, preço do petróleo e taxa de câmbio referem-se ao cenário B1, “Surfando a Marola”, do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE-2030). Segundo as projeções do PNE, o Brasil deverá crescer 3,7% entre 2009 e 2020, aumentando para 4,5% de 2021 a 2030. A taxa de crescimento do PIB mundial será de 3% ao ano para todo o período projetado. Para a projeção de população do Brasil foram utilizadas as projeções do Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE). A Tabela 4 sintetiza o cenário macroeconômico utilizado, para os anos de 2006, 2008, 2018 e 2030.

Tabela 4 – Projeções macroeconômicas

| Variável | Unidade | 2006 | 2008 | 2018 | 2030 |
|------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| PIB Brasil | % ao ano | 5,39% | 3,53% | 3,70% | 4,50% |
| PIB Mundial | % ao ano | 4,07% | 2,48% | 3,00% | 3,00% |
| População Brasil | Milhões | 186,77 | 191,87 | 214,94 | 236,74 |
| Preço do Petróleo | US\$/barril | 67,00 | 63,50 | 53,07 | 42,67 |
| Taxa de Câmbio Nominal | R\$/US\$ | 2,17 | 1,66 | 3,35 | 4,77 |
| Taxa de Inflação | % ao ano | 4,72 | 6,02 | 3,36 | 2,46 |

Fonte: Plano Nacional de Energia (PNE 2030) e ICONE.

O cenário macroeconômico considerado é importante uma vez que são componentes das equações de demanda e de custo. Exemplos disso são o PIB *per capita* e a população brasileira, que são variáveis explicativas das equações de demanda doméstica. A taxa de câmbio e o PIB mundial são variáveis explicativas nas equações de exportações líquidas. Já para o custo, a sua projeção para cada produto em cada região é uma função do Índice de Preços de Fertilizantes, sendo este uma função do preço do petróleo.

6 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Como o objetivo de avaliar e comparar as emissões de gases de efeito estufa provenientes das mudanças no uso da terra no Brasil, optou-se por gerar um cenário de referência e outros cinco cenários de baixo carbono. Todos estes cenários foram incorporados no modelo de uso da terra do ICONE como um choque externo, gerando os resultados para as seis grandes regiões do modelo. Posteriormente, o cenário de referência e o último cenário de baixo carbono (que agrega os quatro cenários anteriores) foram desagregados nas microrregiões brasileiras, de acordo com a metodologia explicada anteriormente.

Em relação ao cenário de referência, este se origina a partir do modelo de projeções de uso da terra do ICONE, considerando um padrão de expansão da agropecuária brasileira conforme observado no passado. Assim, para este cenário, não existem choques exógenos sobre nenhuma variável considerada no modelo. O cenário de referência serve como base de comparação com relação aos cenários alternativos que consideram um padrão de expansão dos setores agropecuários, energéticos e de transportes com menores níveis de emissão de gases de efeito estufa.

Deve-se ressaltar que a demanda de etanol, biodiesel e as exportações líquidas de etanol são exógenas ao modelo. O cenário de consumo desses energéticos foi extraído do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE - 2030), produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) durante o ano de 2006 e concluído em abril de 2007 (BRASIL, 2007). Dada a disponibilidade de dados mais recentes durante o desenvolvimento do presente projeto, os valores projetados no PNE foram atualizados até a safra de 2008, sendo dessa data em diante adotada a variação projetada no PNE 2030. Os estoques de etanol e a produção de etanol são endógenos ao modelo.

De acordo com o PNE 2030 o consumo interno de etanol cresce significativamente ao longo do período, partindo de 12,8 bilhões de litros em 2006 para 59,2 bilhões de litros de etanol em 2030. Já as exportações atingem um máximo de 15,8 bilhões de litros em 2020, declinando para o patamar de 13 bilhões de litros em 2030.

No caso do biodiesel, segundo o cenário do PNE 2030, partindo do valor observado em 2007, o consumo de diesel aumentará aproximadamente em 228%, saindo de 42.784 mil toneladas em 2007 para 97.876 mil toneladas em 2030. Além disso, segundo o PNE 2030 a porcentagem mínima de mistura de biodiesel no óleo diesel sai de 2% em 2008 e atingirá

12% em 2030. Já a participação da soja na produção de biodiesel deverá ser reduzida de 88% em 2008 para 35% em 2035. O resultado desse cenário é uma produção de biodiesel de soja de 802,9 mil toneladas em 2008, o qual aumentará para 4.133 mil toneladas em 2030.

A alocação de terras para florestas plantadas é determinada exogenamente ao modelo e representa uma restrição ao crescimento das demais culturas. A área total ocupada por tais florestas baseia-se nas projeções contidas no PNE, a qual informa a área total ocupada por eucalipto, pinus e demais madeiras tropicais para todo o Brasil, em 2010, 2015, 2020 e 2030. Para calcular a área ano a ano, foi considerado um crescimento constante entre os períodos.

A partir da série histórica (1997-2007) de área ocupada pelas florestas plantadas, por regiões, a projeção brasileira foi dividida entre as regiões. Foi considerado tanto a participação de cada região no total Brasil como o histórico de crescimento de tal participação.

A área total ocupada com florestas plantadas no Brasil partiu de 5,2 milhões de hectares em 2006 e chegará a 8,45 milhões em 2030, o que representa um crescimento de 60% no período. Em termos das dinâmicas regionais, o destaque está na Região Sul, que mais do que dobrará sua área no período, chegando a 3,7 milhões de hectares em 2030, ultrapassando a Região Sudeste e tornando-se a região de maior área. Outro destaque é a Região MAPITO e Bahia que apresentará um crescimento de área de 124%, o que representa uma área de 1,5 milhões em 2030 (Tabela 5).

Tabela 5 – Projeção de florestas de produção

| | 2006 | 2008 | 2030 |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Sul | 1.670 | 1.914 | 3.712 |
| Sudeste | 2.452 | 2.669 | 2.493 |
| Centro-Oeste Cerrado | 319 | 374 | 533 |
| Norte Amazônia | 140 | 149 | 167 |
| Nordeste Litorâneo | - | - | - |
| MAPITO e Bahia | 688 | 768 | 1.545 |
| Brasil | 5.269 | 5.874 | 8.450 |

Fonte: PNE, ICONE.

No cenário de referência a área disponível para expansão da agricultura foi considerada como sendo os pastos passíveis de serem convertidos, assim como as áreas de vegetação remanescente. Foram apenas considerados tanto pastos como vegetação

remanescente sem impedimentos, de acordo com a classificação da UFMG, isto é, sem impedimentos legais (UCs e TIs) ou com declividades acentuadas ou solos impróprios. Assim, observa-se que o impedimento legal das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) não foram levados em consideração.

Em relação aos cenários de baixo carbono, optou-se por analisar quatro cenários individualmente e um cenário que agrega os quatro cenários anteriores:

1. Cenário de otimização do rebanho
2. Cenário de aumento de florestas de produção mais rebanho
3. Cenário de alta exportação de etanol mais rebanho e florestas de produção
4. Cenário de legalidade (ou recomposição de Reserva Legal) mais rebanho
5. Cenário onde os quatro anteriores acontecem simultaneamente

Em todos os cenários de baixo carbono foi considerado desmatamento zero em todo o país a partir de 2009, ou seja, a área total da agropecuária brasileira foi congelada. A maior área total ocupada pela agropecuária observada entre 2006 e 2008 foi escolhida, para cada região, como sendo o limite de expansão das atividades agrosilvopastoris até 2030. Apenas a região Norte Amazônia teve uma área maior em 2008, enquanto as demais tiveram maior área ocupada pela agropecuária em 2006. A melhoria dos índices zootécnicos e a intensificação de pastagens serão as variáveis chave para garantir que a maior demanda por terra para cana-de-açúcar e florestas de produção, bem como a redução da área produtiva no cenário de legalidade, não resulte em desmatamento adicional, evitando o efeito cascata na fronteira.

A Figura 7 mostra os quatro cenários de baixo carbono, que darão origem ao cenário final que agrega os quatro anteriores.

| | | Ação para Evitar o Efeito Dominó |
|--|--|---|
| Cenário baixo carbono: medidas de mitigação | Otimização do rebanho (Tema D) | Melhorias nos indicadores zootécnicos |
| | Otimização do rebanho com floresta de produção crescente (Temas D e V) <ul style="list-style-type: none"> • Eliminação em 2017 do carvão vegetal não renovável e participação de 46% do carvão vegetal renovável na produção da siderurgia. | Intensificação de pastagens |
| | Otimização do rebanho com floresta de produção crescente, maior exportação de etanol e maior adoção de etanol de 2a geração (Temas D, V e F). Mistura de 20% de etanol na gasolina com o Brasil atendendo a 15% desse mercado | Intensificação de pastagens |
| | Otimização do rebanho com cenário de legalidade (restauração florestal) (Temas D e B) <ul style="list-style-type: none"> • Recuperação do passivo ambiental de floresta legal calculado em 44,34 milhões de hectares. | Intensificação de pastagens |
| | Efeito combinado de todas as medidas | Intensificação de pastagens |

Figura 7 – Cenários de Baixo Carbono

Fonte: ICONE

No primeiro cenário de baixo carbono, chamado de cenário de otimização do rebanho, foram considerados ganhos de produtividade no rebanho bovino, apresentando melhores índices zootécnicos (maior taxa de natalidade e menor idade no abate). A maior implicação deste cenário se dá sobre a área de pastagens, já que o modelo considera o rebanho como variável diretamente proporcional na determinação da área de pasto. Com isso, é de esperar que ocorra um processo de intensificação das áreas de pastagens de forma mais rápida do que se observou no passado e no cenário de referência. Tal fato é fundamental para acomodar a maior demanda de terra dos demais cenários.

No segundo cenário, foi considerado uma maior demanda por florestas de produção, além do rebanho menor. O cenário de florestas de produção tem como princípio um aumento

da demanda de carvão vegetal para suprir a substituição de carvão mineral e carvão vegetal de florestas nativas na produção siderúrgica. Considerando a grande demanda de energia para produção de ferro-gusa, matéria prima fundamental da indústria siderúrgica, uma maior participação de carvão vegetal de florestas de produção representa um grande impacto no uso da terra.

No cenário de referência, foi considerada uma demanda de cerca de um milhão de hectares de florestas de produção para suprir a produção de ferro-gusa. No cenário de baixo carbono, esta demanda subirá para 3,6 milhões de hectares, o que representa uma captação adicional de aproximadamente 500 milhões de toneladas de CO₂.

O cenário de alta exportação de etanol e florestas de produção é uma conjugação de quatro alterações exógenas em relação ao cenário de referência. Além do melhoramento dos índices zootécnicos, são consideradas maiores exportações brasileiras de etanol, a adoção progressiva da tecnologia de produção de etanol de segunda geração e, ainda, maior área alocada para florestas de produção. Assim como nos demais cenários de baixo carbono, a área total para agropecuária não se altera, posta a hipótese de desmatamento zero e intensificação das pastagens.

Nesse cenário, além do cenário de florestas de produção acima descrito, é assumido que o etanol irá substituir 10% da gasolina mundial até 2030 e que as exportações brasileiras representarão 15% do consumo mundial de etanol. Tais pressuposições são fundamentadas nas expectativas dos principais países consumidores em relação a consumo de gasolina, mandatos de utilização de etanol, capacidade produtiva e regimes de comércio (WALTER *et al*, 2008).

As exportações brasileiras de etanol, que se encontravam no nível de 3,5 bilhões de litros em 2006, são projetadas para atingir 19, 37, e 84 bilhões de litros em 2015, 2020 e 2030, respectivamente. No cenário etanol, o consumo interno de etanol não é alterado em relação ao cenário de referência.

A adoção da tecnologia de etanol de segunda geração tem impactos diretos no modelo de uso da terra, uma vez que a utilização do material celulósico (principalmente o bagaço de cana-de-açúcar) para a produção de etanol reduz a demanda de cana-de-açúcar para uma mesma demanda de etanol, reduzindo dessa forma a demanda por área.

A adoção do etanol de segunda geração ocorre progressivamente. Em 2010, o etanol de segunda geração é responsável por apenas 0,4% (0,13 bilhões de litros) de toda a produção

nacional. Esse percentual cresce progressivamente para 2,5% (1,3 bilhões de litros) em 2015, 6,1% (4,5 bilhões de litros) em 2020, chegando a 13,3% (17,3 bilhões de litros) em 2030.

O quarto cenário considera o reflorestamento gradual dos passivos de Reserva Legal (RL), até atingir a sua completa recomposição em 2030. Existem inúmeras dificuldades em se calcular o passivo de Reserva Legal (RL) no Brasil, sobretudo porque esse cálculo deveria ser feito no nível do estabelecimento rural. Além disso, a recomposição das Áreas de Preservação Permanente. (APP) também é requisito para atingir um cenário de legalidade. Apesar das dificuldades, havia desde o início do projeto uma expectativa que o cenário de baixo carbono, no caso do grupo de LULUCF, teria que se basear em uma condição que se aproximasse da legalidade. Convencionou-se, desta forma, chamar o cenário de recuperação de Reserva Legal como aquele “de legalidade”. Embora a equipe tenha concluído que o cálculo exato estava descartado, optou-se por se fazer um cálculo aproximado a partir dos dados preparados pela UFMG.

A fim de se obter a área necessária de reflorestamento para cumprir a Reserva Legal foi elaborado um método simplificado, considerando a limitação dos dados disponíveis. A área definida por lei como RL é função da área de cada propriedade rural e do bioma em que se encontra. Como não existem dados na escala de propriedades, foi utilizado o município como aproximação. Assim, a porcentagem de RL foi calculada a partir da área do município, excluindo as áreas apontadas pelo mapeamento da UFMG como Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI), principais cursos d'água e áreas urbanas. Utilizaram-se as porcentagens definidas pelo Código Florestal, quais sejam: 80% no bioma Amazônia, 35% no Cerrado dentro da Amazônia Legal e 20% nos demais biomas e regiões.

Após a estimativa da área que deveria ser destinada a RL, foi retirada a área com vegetação nativa existente entre vegetação secundária, savana e florestas. O resultado é a área que deve ser destinada a reflorestamento para se cumprir a determinação em lei da RL (Tabela 6).

Será considerado que essas áreas que necessitam ser regularizadas serão reflorestadas de modo gradual, ano a ano. Assim, partindo de 2009, será descontada da área disponível para produção agrícola 1/22 da área total a ser reflorestada, até atingir a legalidade plena em 2030.

Tabela 6 – Área necessária para reflorestamento de Reserva Legal, por estados do Brasil (ha)

| UF | Área para Reflorestamento | UF | Área para Reflorestamento |
|---------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| Mato Grosso do Sul | -3.398.792 | Acre | -721.161 |
| Mato Grosso | -9.465.888 | Amazonas | -34.848 |
| Goiás | -2.611.730 | Roraima | -46.757 |
| Distrito Federal | 0 | Pará | -11.369.199 |
| Maranhão | -40.959 | Amapá | 0 |
| Piauí | 0 | Tocantins | -1.644.537 |
| Rio Grande do Norte | -3.062 | Paraná | -1.711.257 |
| Paraíba | -27.167 | Santa Catarina | -398.679 |
| Pernambuco | -58.239 | Rio Grande do Sul | -1.184.241 |
| Alagoas | -91.861 | Minas Gerais | -2.682.095 |
| Sergipe | -118.800 | Espírito Santo | -205.436 |
| Bahia | -242.079 | Rio de Janeiro | -178.087 |
| Rondônia | -4.794.589 | São Paulo | -3.314.927 |
| Total Brasil | 44.344.389 | | |

Fonte: UFMG. Elaboração: ICONE.

O último cenário agrega os quatro cenários anteriores. Assim, têm-se um rebanho com melhores índices zootécnicos, maior demanda por etanol, maior demanda por florestas de produção e recuperação do passivo ambiental a partir do reflorestamento. A seção 7 descreve os resultados obtidos para cada cenário considerado neste estudo.

7 RESULTADOS

Esta seção trata dos resultados obtidos a partir dos cenários gerados para fins deste estudo. Primeiramente, apresentam-se os resultados para o cenário de referência, descrito na seção 7.1. A seção 7.2 descreve os resultados dos cenários de baixo carbono.

7.1 Resultados do Cenário de Referência

Esta seção apresenta os resultados das projeções de uso da terra para agricultura, pastagens e florestas de produção no cenário de referência. Embora as projeções de oferta e demanda não sejam aqui apresentadas, é importante salientar que elas fazem parte dos dados de saída do modelo e são determinantes da alocação total de terra no Brasil para cada atividade.

Conforme mostra a Tabela 7, a demanda por área no Brasil projetada para o ano de 2018, considerando os produtos analisados, será de 263,2 milhões de hectares. Ou seja, haverá um aumento de 1,7% em relação aos 259,3 milhões de hectares utilizados para os mesmos produtos em 2006. Para 2030 este incremento é mais expressivo, havendo um crescimento de 6,5% na área agrícola total em relação a 2006 e alcançando 276,1 milhões de hectares. Assim, verifica-se que entre 2006 e 2030 houve uma expansão de 16,9 milhões de hectares da área ocupada pela agropecuária, proveniente de conversão de vegetação nativa. O Norte Amazônia apresenta o maior crescimento do período, de 24%.

Tabela 7 – Uso Produtivo da Terra - culturas, pasto e florestas - nas diferentes regiões e no Brasil (em mil hectares)

| Região | 2006 | 2008 | 2018 | 2030 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Brasil | 259.275 | 257.297 | 263.222 | 276.126 |
| Sul | 34.173 | 33.561 | 33.614 | 34.238 |
| Sudeste | 54.845 | 53.517 | 53.747 | 53.960 |
| Centro-Oeste Cerrado | 61.756 | 61.087 | 61.843 | 62.994 |
| Norte Amazônia | 56.639 | 57.695 | 61.826 | 70.405 |
| Nordeste Litorâneo | 14.567 | 14.622 | 14.913 | 15.233 |
| MAPITO e Bahia | 37.295 | 36.815 | 37.678 | 39.296 |

Fonte: ICONE

Apesar da expansão da agropecuária ser expressiva em termos absolutos, esta pode ser considerada baixa se for analisada em termos anuais. Ou seja, 16,9 milhões de hectares de desmatamento em 24 anos significa uma montante médio anual de 700 mil hectares, bem inferior à média de desmatamento observada apenas na Amazônia Legal nos últimos 10 anos, de cerca de 2 milhões de hectares.

A redução da área de pasto em 2030 veio acompanhada de um incremento no rebanho bovino de 13,9%, neste mesmo período. Isso indica que haverá um ganho de produtividade do setor de 14,9%, passando de 0,99 para 1,13 cabeças por hectare. A maior parte deste crescimento de rebanho se dará no Norte Amazônia, a qual aumentará em um total de 20,7 milhões de cabeças acompanhado por um incremento na área de pastagens de 12,1 milhões de hectares (Tabela 8).

Tabela 8 – Uso da Terra (em mil hectares) nas seis regiões do modelo, cenário de referência

| | Sul | | Sudeste | | Centro-Oeste | | Norte-Amazônia | | Nordeste Litôranco | | MAPITO e Bahia | |
|----------------------|--------|--------|---------|--------|--------------|--------|----------------|--------|--------------------|--------|----------------|--------|
| | 2006 | 2030 | 2006 | 2030 | 2006 | 2030 | 2006 | 2030 | 2006 | 2030 | 2006 | 2030 |
| Algodão | 13 | 5 | 90 | 66 | 402 | 672 | 60 | 71 | 30 | 38 | 249 | 546 |
| Arroz | 1.241 | 1.447 | 122 | 108 | 273 | 227 | 521 | 526 | 62 | 82 | 800 | 842 |
| Feijão 1a | 536 | 341 | 332 | 211 | 59 | 20 | | | | | 305 | 584 |
| Feijão 2a | 282 | 288 | 349 | 355 | 136 | 134 | 174 | 73 | 1.289 | 1.166 | 763 | 551 |
| Milho 1a | 3.706 | 3.584 | 2.134 | 2.303 | 680 | 1.010 | 621 | 597 | 1.406 | 1.611 | 1.084 | 1.187 |
| Milho 2a | 967 | 1.598 | 290 | 234 | 1.363 | 2.708 | 341 | 669 | | | 371 | 398 |
| Soja | 8.377 | 11.474 | 1.716 | 1.944 | 8.322 | 10.167 | 2.461 | 4.076 | | | 1.872 | 2.939 |
| Cana-de-açúcar | 483 | 1.292 | 3.944 | 7.056 | 501 | 1.594 | 113 | 110 | 979 | 1.214 | 160 | 1.435 |
| Floresta de produção | 1.670 | 2.831 | 2.452 | 2.707 | 319 | 910 | 140 | 327 | 0 | 310 | 688 | 1.365 |
| Pastagens | 18.146 | 13.264 | 44.053 | 39.565 | 51.200 | 48.395 | 52.551 | 64.624 | 10.801 | 10.812 | 32.138 | 30.399 |

Fonte: ICONE.

Pode-se analisar o crescimento da área produtiva na fronteira como decorrente de dois fenômenos distintos, porém interligados. Primeiramente, existe crescimento significativo do rebanho na fronteira, devido a sua estabilização nas regiões tradicionais e a demanda crescente por carne. No Norte Amazônia e no MAPITO e Bahia, espera-se um crescimento entre 2006 e 2030 de 44% e 13% do rebanho, respectivamente. Este fato pode ser considerado como um efeito indireto do crescimento das demais culturas, que ocuparam áreas de pasto nas regiões do Centro-Sul do Brasil.

Além disso, observou-se um impacto nas fronteiras decorrente do próprio crescimento das culturas, mais acentuado em termos proporcionais no MAPITO e Bahia do que no Norte Amazônia, onde a expansão do pasto é muito mais importante. No MAPITO e Bahia houve crescimento de 1 e 1,2 milhão de hectares de soja e cana-de-açúcar, respectivamente, entre 2006 e 2030. Já no Norte Amazônia, o crescimento da soja no mesmo período foi de 1,6 milhão de hectares, enquanto as pastagens cresceram 12 milhões de hectares (Tabela 8).

Enquanto a pecuária bovina se intensifica e reduz área de pastagens no Centro-Oeste Cerrado em 2,8 milhões de hectares entre 2006 e 2030, a soja e a cana-de-açúcar são as lavouras que deverão demandar maiores contingentes de área nesta região, expandindo em 1,8 e 1,1 milhão de hectares, respectivamente. Isto indica que grande parte do crescimento das áreas das culturas ocorrerá sobre as pastagens. Também merece destaque o aumento da área destinada ao milho segunda safra, que cresceu 1,3 milhão entre 2006 e 2030. Apesar de não impactar a competição por terra, este crescimento é muito importante, pois significa aumento na produção total de milho, e assim, menor necessidade de área de milho de primeira safra (Tabela 8).

O mesmo fato pode ser observado no Sudeste, porém em proporções distintas. Esta é a região onde o crescimento da área de cana-de-açúcar é mais expressivo, saltando de 3,9 milhões de hectares em 2006 para 7,1 milhões de hectares em 2030. Por outro lado, a variação de área utilizada para as demais culturas não são muito expressivas, corroborando com o pressuposto de que esta região se aproxima do limite de expansão da área utilizada para a agricultura (Tabela 8).

As áreas de pastagens no Sudeste apresentarão uma redução de 4,5 milhões de hectares, com uma queda do rebanho bovino de 2,9 milhões de cabeças, ainda indicando um ganho de produtividade da pecuária nesta região. É importante ressaltar que a região Sudeste é a segunda região mais importante na pecuária leiteira e que o rebanho de vacas leiteiras se apresentou praticamente estável (Tabela 8 e Tabela 9), mas houve um aumento na produção de 6,7 milhões de toneladas de leite. A produção de carne da região também cresceu no período em 221 mil toneladas. Assim, a redução do rebanho não significou perda na capacidade de produção, mas sim melhores níveis tecnológicos da mesma.

Tabela 9 – Rebanho de vacas leiteiras (em mil cabeças), cenário de referência

| Região | 2006 | 2008 | 2018 | 2030 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Brasil | 20.942,81 | 22.813,01 | 24.471,55 | 27.732,54 |
| Sul | 3.406,60 | 4.102,30 | 5.458,26 | 6.466,67 |
| Sudeste | 7.186,67 | 7.091,95 | 6.865,94 | 6.997,04 |
| Centro-Oeste Cerrado | 3.078,42 | 3.347,27 | 3.805,55 | 4.530,30 |
| Norte Amazônia | 2.636,85 | 3.428,19 | 3.828,04 | 4.524,86 |
| Nordeste Litorâneo | 1.749,15 | 1.876,15 | 1.882,13 | 2.255,77 |
| MAPITO e Bahia | 2.885,12 | 2.967,16 | 2.631,64 | 2.957,90 |

Fonte: ICONE

Na Região Sul, as pastagens cairão 4,9 milhões de hectares entre 2006 e 2030, enquanto o rebanho permanecerá praticamente constante. Observa-se forte crescimento da cultura da soja e de florestas de produção, 3,1 e 1,1 milhões de hectares, respectivamente, no mesmo período (Tabela 8). Assim, o Sul mantém sua elevada participação na produção de soja e florestas de produção no país, com uma área agrosilvopastoril total aproximadamente constante.

A região Nordeste Litorâneo apresentou apenas pequenas variações no uso da terra no período considerado. Florestas de produção representaram o maior crescimento de área, 310 mil hectares entre 2006 e 2030, seguido de cana-de-açúcar, 235 mil hectares, e milho, 204 mil hectares (Tabela 8). Isto significa que a região também está praticamente no limite da ocupação de terras, principalmente devido às restrições edafoclimáticas que impedem o uso produtivo de grande parte de suas áreas.

É importante entender como se interpreta o fenômeno da estabilização do rebanho nas regiões do Centro-Sul e a expansão deste nas regiões de fronteira. As projeções para o cenário de referência basicamente replicam, em linhas gerais, as tendências observadas de 1996 a 2008, período de tempo para o qual foram levantados os dados de rebanho, agricultura e florestas de produção. O que se observou nesse período é que o grande determinante da expansão das áreas de pastagens na região Norte Amazônia é a expansão do rebanho bovino. Essa expansão se deu de forma consistente de 1996 a 2006, sendo que, de 2006 a 2008, o rebanho em todas as regiões caiu, resultado de um incremento na taxa de abate por conta do forte crescimento das exportações de carne, sem um correspondente ganho significativo de eficiência nos índices zootécnicos, tais como a taxa de reposição e a diminuição da idade de abate. Além de não ter sido identificadas melhorias significativas nos índices zootécnicos, os

baixos preços dos animais observados na primeira metade dos anos 2000 levaram os pecuaristas a vender matrizes de corte para abate, reduzindo a capacidade de reposição do rebanho e pressionando ainda mais os preços para baixo.

Assim, a expansão das pastagens em algumas regiões observada no cenário de referência é fruto, sobretudo, de um efeito de expansão do rebanho, tendo a competição direta das lavouras sobre as pastagens como uma explicação menos importante. Embora os resultados mostrem claramente que as lavouras estão crescendo sobre as áreas de pastagens, isso não significa que as pastagens tenham que se expandir na fronteira para compensar esse efeito. As pastagens crescem na fronteira porque a demanda por carne cresce e é nessa região onde o custo de oportunidade de expansão do rebanho é menor, resultando em aumento de área de pastagens. Isso fica claro quando se observa os resultados por região: o crescimento da pastagem no Norte Amazônia é mais intenso do que a perda de pastos nas demais regiões que, por sua vez, é resultado da competição com lavouras e florestas de produção.

As variações na demanda por terra das demais culturas (milho, milho safrinha, feijão primeira e segunda safras, arroz e algodão) não serão tão expressivas quanto às observadas nas culturas de soja, cana-de-açúcar e pecuária. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 10, a área de milho primeira safra deve crescer entre 2006 e 2030, 660 mil hectares. No entanto, a área da segunda safra, neste mesmo período, crescerá 2,3 milhões de hectares, sendo que grande parte deste incremento se dará nas regiões Centro-Oeste Cerrado e Sul.

Tabela 10 – Uso da Terra (em mil hectares) para o Brasil, cenário de referência

| Produtos | 2006 | 2008 | 2018 | 2030 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Algodão | 844 | 1.066 | 1.320 | 1.399 |
| Arroz | 3.018 | 2.881 | 2.898 | 3.231 |
| Feijão - 1 safra | 2.694 | 2.857 | 2.380 | 2.394 |
| Feijão - 2 safra | 1.529 | 1.143 | 1.281 | 1.328 |
| Milho - 1 safra | 9.632 | 9.656 | 9.663 | 10.292 |
| Milho Safrinha | 3.332 | 5.052 | 5.402 | 5.608 |
| Soja | 22.749 | 21.334 | 26.023 | 30.601 |
| Cana-de-açúcar | 6.179 | 8.235 | 10.594 | 12.700 |
| Florestas de produção | 5.269 | 5.887 | 7.740 | 8.450 |
| Total agricultura verão | 50.386 | 51.903 | 60.814 | 69.793 |
| Pasto | 208.889 | 205.381 | 203.003 | 207.060 |
| Area Agrícola + Pasto | 259.275 | 257.284 | 263.817 | 276.853 |

Fonte: ICONE

O avanço observado na área de milho de primeira e segunda safra pode ser explicado, em sua maior parte, pelo aumento da demanda de rações, a qual por sua vez foi impulsionada por um crescimento da produção de carnes suína e de frango, as quais aumentaram 79% e 66%, respectivamente, no período analisado.

Já a área de feijão primeira safra cairá 0,3 milhão de hectares, somando à queda de 0,2 milhão de hectares da segunda safra de feijão. No entanto, a produção de feijão no Brasil deverá aumentar de 3,5 para 4,9 milhões de toneladas entre 2006 e 2030, devido ao aumento de produtividade esperado no período (Tabela 10).

É importante ressaltar que, o modelo de uso da terra do ICONE projeta a produtividade como uma tendência no tempo. Para o cenário de referência, foram considerados ganhos de produtividade de acordo com o padrão observado no passado. Assim, as produtividades cresceram, em média, entre 0,69 e 2,10% ao ano para as culturas consideradas.

As florestas de produção, de acordo com as estimativas exógenas do PNE, ocuparão uma área de 8,5 milhões de hectares em 2030, representando um crescimento de pouco mais de 3 milhões de hectares em relação a 2006. A maior parte deste crescimento ocorre na Região Sul, cerca de 1,2 milhão de hectares (Tabela 10), reproduzindo a tendência de expansão observada no passado.

No arquivo em Excel, nomeado “ICONE_CenarioReferencia_Resultados_MicroRegioes.xls”⁹, seguem os resultados do cenário de referência desagregados por microrregião brasileira. O arquivo possui uma aba para cada cultura considerada no modelo. Os resultados com as saídas do modelo, ou seja, nas 6 macrorregiões, estão no arquivo em Excel “ICONE_Cenarios Referencia e Baixo Carbono_6macrorregioes.xls”¹⁰.

7.2 Resultados dos Cenários de Baixo Carbono

Os tópicos a seguir descrevem os resultados obtidos nos cenários de baixo carbono: cenário de otimização do rebanho, cenário de florestas de produção, cenário de etanol e florestas de produção, cenário de legalidade e todos os anteriores agregados.

⁹ O arquivo em Excel com os resultados projetados em alocação de área por atividade e por microrregião poderá ser disponibilizado mediante solicitação. E-mail para contato: lharfuch@iconebrasil.org.br.

¹⁰ Disponível em: <http://www.iconebrasil.org.br/>

7.2.1 Cenário de Otimização do Rebanho

O primeiro cenário de baixo carbono foi desenvolvido em parceria com a Embrapa Cerrados. Nesse cenário, o rebanho aumentará de 206 para 208 milhões de cabeças entre 2006 e 2030. Assim, houve um maior ganho na taxa de natalidade do rebanho bovino em relação ao cenário de referência, passando de 0,77 para 0,82 bezerras para cada fêmea entre 2006 e 2030. Isso representa uma taxa de crescimento de 0,36% ao ano entre 2009 e 2030. Além disso, a taxa de desfrute aumentou em relação ao cenário de referência, apresentando uma taxa de crescimento de 0,80% ao ano entre 2009 e 2030 e passando de 23% para 27% do total do rebanho bovino entre 2006 e 2030. Apesar do rebanho bovino menor, a produção de carne bovina apresentou resultados semelhantes aos do cenário de referência, sendo isso necessário para atender a demanda por carne bovina. Entre 2006 e 2018, a produção de carne bovina passou de 9,9 para 11,2 milhões de toneladas, aumentando para 13,2 em 2030 (Tabela 11).

Tabela 11 – Oferta e demanda de equilíbrio para os produtos selecionados, cenário de otimização do rebanho

| Produtos | Unidades | 2006 | 2008 | 2018 | 2030 |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|---------|
| Algodão | Mil Toneladas | 3.659 | 5.107 | 7.133 | 9.120 |
| Arroz | Mil Toneladas | 14.344 | 12.800 | 15.529 | 20.611 |
| Feijão | Mil Toneladas | 3.625 | 3.936 | 4.424 | 5.432 |
| Milho | Mil Toneladas | 45.362 | 61.598 | 73.663 | 89.351 |
| Soja | Mil Toneladas | 57.559 | 63.524 | 83.230 | 105.444 |
| Farelo de Soja | Mil Toneladas | 23.684 | 25.655 | 30.708 | 46.097 |
| Óleo de Soja | Mil Toneladas | 5.984 | 6.529 | 7.489 | 11.425 |
| Açúcar | Mil Toneladas | 29.767 | 34.349 | 44.061 | 55.852 |
| Etanol | Milhões de Litros | 18.781 | 28.482 | 51.843 | 75.533 |
| Carne Bovina | Mil Toneladas | 9.928 | 9.699 | 11.222 | 13.163 |
| Leite | Mil Toneladas | 26.153 | 28.716 | 38.807 | 54.071 |
| Carne de Frango | Mil Toneladas | 9.354 | 10.880 | 12.670 | 15.737 |
| Ovos | Milhões de Unidades | 23.575 | 23.039 | 25.725 | 29.312 |
| Carne Suína | Mil Toneladas | 2.864 | 3.102 | 4.382 | 5.606 |

Fonte: ICONE

O resultado mais importante neste cenário se refere à alocação das áreas de pastagens. Com o rebanho crescendo menos e, ainda, devido à hipótese de não desmatamento a partir de 2009, a área de pastagens apresentou redução significativa no período em análise. Entre 2006

e 2018, a área de pastagens deverá reduzir 10,7 milhões de hectares e, até 2030, esta diminuição deverá ser de 18,8 milhões de hectares, atingindo 190 milhões de hectares. Isso implica em um ganho de produtividade no que diz respeito ao número de animais por hectare, que aumenta de 0,99 para 1,09 para todo o período, representando um incremento de 0,48% ao ano (Tabela 12).

Tabela 12 – Uso da terra no Brasil, cenário de otimização do rebanho (em mil hectares)

| | 2006 | 2008 | 2018 | 2030 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
| Algodão | 844,20 | 1.066,37 | 1.350,66 | 1.453,43 |
| Arroz | 3.017,83 | 2.880,70 | 2.910,66 | 3.228,70 |
| Feijão - 1 safra | 2.694,21 | 2.856,81 | 2.390,40 | 2.389,68 |
| Feijão - 2 safra | 1.529,39 | 1.143,11 | 1.280,97 | 1.327,74 |
| Milho - 1 safra | 9.632,09 | 9.656,20 | 9.693,51 | 10.412,82 |
| Milho safrinha | 3.331,81 | 5.052,38 | 5.373,23 | 5.638,37 |
| Soja | 22.748,97 | 21.334,28 | 25.976,84 | 30.520,04 |
| Cana-de-açúcar | 6.179,26 | 8.234,90 | 10.579,43 | 12.631,20 |
| Florestas de produção | 5.269,29 | 5.886,76 | 7.740,00 | 8.450,00 |
| Pastagens | 208.888,89 | 205.380,63 | 198.217,33 | 190.097,26 |

Fonte: ICONE

Apesar da redução nas áreas de pastagens terem sido significativa em todas as regiões, ela foi maior no Norte Amazônia, comparando os cenários de referência e de otimização do rebanho. Nesse último cenário as áreas de pastagens nessa região diminuirão 2,7 milhões de hectares entre 2006 e 2030, ao contrário do cenário de referência, onde se observou um aumento de 12 milhões de hectares para o mesmo período (Tabela 13). A principal explicação para este fato se deve à redução de rebanho bovino de 18,2 milhões de cabeças deste cenário em relação ao cenário de referência. Esta foi a região que apresentou maior impacto sobre a redução no rebanho em relação ao cenário de referência, que passou de 68 para 49,9 milhões de cabeças como pode ser visto na Tabela 14.

Tabela 13 – Alocação regional das áreas de pastagens, cenário de referência e de otimização do rebanho (em mil hectares)

| | Cenário de Referência | | | Cenário de Otimização do Rebanho |
|----------------------|-----------------------|---------|---------|----------------------------------|
| | 2006 | 2008 | 2030 | 2030 |
| Brasil | 208.889 | 205.381 | 207.060 | 190.097 |
| Sul | 18.146 | 17.603 | 13.264 | 12.606 |
| Sudeste | 44.053 | 41.865 | 39.565 | 39.678 |
| Centro-Oeste Cerrado | 51.200 | 50.636 | 48.395 | 47.338 |
| Norte Amazônia | 52.551 | 53.728 | 64.624 | 51.879 |
| Nordeste Litorâneo | 10.801 | 10.487 | 10.812 | 10.196 |
| MAPITO e Bahia | 32.138 | 31.061 | 30.399 | 28.401 |

Fonte: ICONE

Tabela 14 – Distribuição regional do rebanho bovino, cenário de referência e cenário de otimização do rebanho (em mil cabeças)

| | Cenário de Referência | | | Cenário de otimização do rebanho |
|----------------------|-----------------------|---------|---------|----------------------------------|
| | 2006 | 2008 | 2030 | 2030 |
| Brasil | 205.886 | 201.410 | 234.460 | 208.025 |
| Sul | 27.200 | 26.607 | 27.342 | 25.673 |
| Sudeste | 39.209 | 37.525 | 36.266 | 37.548 |
| Centro-Oeste Cerrado | 56.445 | 55.506 | 63.238 | 58.086 |
| Norte Amazônia | 47.391 | 47.149 | 68.064 | 49.901 |
| Nordeste Litorâneo | 8.665 | 8.156 | 8.958 | 8.372 |
| MAPITO e Bahia | 26.977 | 26.468 | 30.592 | 28.446 |

Fonte: ICONE

Como não houve alterações significativas na área alocada para as culturas também não ocorrerá mudança expressiva na distribuição do rebanho bovino entre as seis regiões do modelo. Devido à redução na idade média de abate e à necessidade de suplementação alimentar dos animais, foi observado um aumento na produção de milho, de 517 mil toneladas em 2006 para 5 milhões de toneladas em 2030. Isso implicou, em relação ao cenário de referência, em uma demanda adicional por área de milho de primeira safra de 120 mil de hectares em 2030 e, ainda, um aumento de 31 mil hectares na área de segunda safra de milho no mesmo período. Esse incremento exógeno na sua demanda resultou em um aumento no preço do milho e fez com que as exportações líquidas reduzissem 152 mil toneladas, além da redução da demanda para outros usos. Para se ter uma idéia, a produção de carnes de

frango e suína reduziu, respectivamente, 319 e 61 mil toneladas em 2030 em relação ao cenário de referência. Assim, combinados todos os efeitos, a produção total de milho aumentou 808 mil toneladas em relação ao cenário de referência.

7.2.2 Cenário de Florestas de Produção

Conforme detalhado anteriormente, este cenário tem como hipótese central o aumento da demanda de carvão vegetal provenientes de florestas de produção substituindo o carvão vegetal de florestas nativas e o carvão mineral, para a produção de ferro-gusa. Além disso, ele tem como ponto de partida um rebanho de 208 milhões de cabeças provenientes do cenário de otimização do rebanho.

No decorrer do período analisado, de 2006 a 2030, a área destinada a florestas de produção aumentará 112%, passando de 5,3 para 11,2 milhões de hectares. Neste cenário de baixo carbono, a área alocada para florestas de produção em 2030 será 2,8 milhões de hectares maior que no cenário de referência, o qual neste ano indica uma área de 8,4 milhões de hectares de florestas de produção. Esta diferença de 2,8 milhões de hectares entre os dois cenários foi, em grande parte, acomodada nas áreas de pastagens, que devido a ganhos de produtividade caíram de 209 para 188 milhões de hectares no período analisado. Essa queda de 21 milhões de hectares de pasto acomodou, além da expansão das florestas de produção, o crescimento das demais culturas analisadas, que mantiveram sua área ocupada e sua produção, comparando-se com o cenário de referência (Tabela 17).

Tabela 15 – Distribuição regional da floresta de produção, cenário de referência e de floresta de produção (em mil hectares)

| Regiões | | | Cenário de Referência | Cenário de Florestas de Produção |
|----------------------|-------|-------|-----------------------|----------------------------------|
| | 2006 | 2008 | 2030 | 2030 |
| Brasil | 5.269 | 5.887 | 8.450 | 11.174 |
| Sul | 1.670 | 1.886 | 2.831 | 2.885 |
| Sudeste | 2.452 | 2.690 | 2.707 | 4.968 |
| Centro-Oeste Cerrado | 319 | 385 | 910 | 992 |
| Norte Amazônia | 140 | 154 | 327 | 491 |
| Nordeste Litorâneo | - | 9 | 310 | 310 |
| Mapito e Bahia | 688 | 762 | 1.365 | 1.528 |

Fonte: ICONE

Em relação à distribuição das áreas alocadas para florestas de produção entre as regiões do modelo em 2030, observa-se um crescimento da participação da região Sudeste de 33 para 44% da área no Brasil, comparando este cenário de baixo carbono com o cenário de referência. Este resultado é explicado principalmente pela alta concentração da indústria siderúrgica nesta região e resultou numa menor participação da região Sul, que caiu de 31% para 25% (Tabela 17).

7.2.3 Cenário de Etanol e Florestas de Produção

No cenário de grandes volumes de exportação etanol, as exportações do energético alcançam o patamar de 8 bilhões de litros, ou seja, 6,5 vezes mais que as exportações observadas no cenário de referência. Assim, a demanda total, que é composta pelas exportações, demanda doméstica e estoques finais de etanol alcançarão 147 bilhões de litros em 2030.

Tal expansão da demanda de etanol faz com que a demanda de área de cana-de-açúcar (todos os usos) ultrapasse 19 milhões de hectares em 2030 em todo Brasil. Esta área será 6,5 milhões de hectares maior que no cenário de referência (Tabela 12).

Ainda analisando os valores agregados para o Brasil percebe-se que o impacto da expansão da cana-de-açúcar não reduzirá significativamente a área ocupada para as demais culturas, sendo esta em grande parte acomodada pela redução de área de pastagens. De fato, a soja e o milho primeira safra, as culturas que mais foram afetadas pela expansão da cana-de-açúcar, terão uma redução menor que 0,5% em sua área plantada, no período projetado. No presente cenário, a área de pastagens, será 26,5 milhões de hectares menor que no cenário de referência e 9,6 milhões de hectares menor que no cenário de otimização do rebanho em 2030 (Tabela 15). Dessa forma, a expansão da cana-de-açúcar exige um esforço adicional no aproveitamento das pastagens em relação ao cenário de otimização do rebanho, decorrente de uma melhoria na taxa de lotação de aproximadamente 5%.

É importante ressaltar que a adoção do etanol de segunda geração contribui significativamente para diminuir a pressão que a expansão das exportações de etanol exerce sobre a demanda de área. No padrão de produtividade esperado para 2030, seriam necessários 182 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para produzir 17 bilhões de litros de etanol. Assumindo uma produtividade de 100 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, a produção

de etanol de celulose estaria reduzindo a demanda de área para cana em aproximadamente 1,8 milhões de hectares¹¹.

Tabela 16 – Uso da terra no Brasil, cenário de etanol (em mil hectares)

| | | | Cenário de Referência | Cenário de Otimização do Rebanho | Cenário de Etanol e Florestas de Produção |
|----------------------|---------|---------|-----------------------|----------------------------------|---|
| | 2006 | 2008 | 2030 | 2030 | 2030 |
| Algodão | 844 | 1.066 | 1.399 | 1.453 | 1.454 |
| Arroz | 3.018 | 2.881 | 3.231 | 3.229 | 3.242 |
| Feijão 1a | 2.694 | 2.857 | 2.394 | 2.390 | 2.414 |
| Feijão 2a | 1.529 | 1.143 | 1.328 | 1.328 | 1.322 |
| Milho 1a | 9.632 | 9.656 | 10.292 | 10.413 | 10.333 |
| Milho 2a | 3.332 | 5.052 | 5.608 | 5.638 | 5.609 |
| Soja | 22.749 | 21.334 | 30.601 | 30.520 | 30.417 |
| Cana de açúcar | 6.179 | 8.235 | 12.700 | 12.631 | 19.188 |
| Floresta de produção | - | 5.887 | 8.450 | 8.450 | 11.174 |
| Pastagens | 208.889 | 205.381 | 207.060 | 190.097 | 188.049 |

Fonte: ICONE

A análise regional indica que, assim como no cenário de referência, grande parte da expansão da cana de açúcar ocorre na região Sudeste, onde a área dedicada à cana-de-açúcar alcançará 8,1 milhões de hectares em 2020 e 11,1 milhões de hectares em 2030. Embora a participação percentual do Sudeste sobre a área total caia ao longo do período, esta redução será menos intensa que no cenário de referência (Tabela 16).

¹¹ Uma avaliação mais rigorosa não permite tal interpretação, uma vez que a produção e exportação de etanol seriam provavelmente diferentes caso não ocorresse a implementação do etanol de segunda geração.

Tabela 17 – Distribuição regional da cana-de-açúcar, cenário de referência, de otimização do rebanho e de etanol (em mil hectares)

| Regiões | Cenário de Referência | | | Cenário de Otimização do Rebanho | Cenário de Etanol |
|----------------------|-----------------------|-------|--------|----------------------------------|-------------------|
| | 2006 | 2008 | 2030 | 2030 | 2030 |
| Brasil | 6.179 | 8.235 | 12.700 | 12.631 | 19.188 |
| Sul | 483 | 694 | 1.292 | 1.297 | 1.605 |
| Sudeste | 3.944 | 5.120 | 7.056 | 7.197 | 11.149 |
| Centro-Oeste Cerrado | 501 | 954 | 1.594 | 1.369 | 2.594 |
| Norte Amazônia | 113 | 135 | 110 | 111 | 259 |
| Nordeste Litorâneo | 979 | 1.150 | 1.214 | 1.217 | 1.435 |
| MAPITO e Bahia | 160 | 182 | 1.435 | 1.441 | 2.146 |

Fonte: ICONE

Por sua vez, as maiores variações da área de cana-de-açúcar em relação ao cenário de otimização do rebanho ocorrem no Sudeste, Centro-Oeste Cerrado, MAPITO e Bahia, respectivamente (Tabela 16). Nessas regiões observa-se também maior resposta de redução das pastagens, tanto pela pressão que o avanço da cana exerce, como pela sua capacidade de intensificação.

Vale ainda salientar que o cenário de grande volume de exportação de etanol praticamente não gera expansão de área de cana-de-açúcar ou de qualquer outra lavoura na região Norte Amazônia (medido pela diferença de área entre o presente cenário e o cenário de otimização do rebanho). Dessa forma, uma vez realizadas as melhorias técnicas do cenário de otimização do rebanho, a redução nas áreas de pastagens provenientes da redução do rebanho bovino já foi suficiente para acomodar quase toda a expansão das culturas gerada no cenário de maiores exportações de etanol.¹²

7.2.4 Cenário de Legalidade (Reflorestamento de Reserva Legal)

As estimativas de necessidade de reflorestamento de Reserva Legal (RL) alcançaram cerca de 44 milhões de hectares, sendo que mais da metade deste total localiza-se na região Norte Amazônia (Tabela 18). Este fato é explicado principalmente pelo maior percentual de RL necessária no bioma Amazônia, 80% das propriedades.

¹² É importante lembrar que o cenário analisado considera a adoção progressiva da tecnologia de segunda geração no caso da cana-de-açúcar.

Tabela 18 – Necessidade de reflorestamento para cumprir Reserva Legal nas Regiões do modelo, em mil hectares

| Região | Área reflorestada até 2030 |
|----------------------|----------------------------|
| Sul | 3.294 |
| Sudeste | 6.381 |
| Centro-Oeste Cerrado | 7.870 |
| Norte Amazônia | 24.573 |
| Nordeste Litorâneo | 299 |
| MAPITO e Bahia | 1.928 |
| Brasil | 44.344 |

Fonte: ICONE

A área alocada para o reflorestamento entre 2009 e 2030 será, em sua totalidade, acomodada pela área de pasto, que neste período reduzirá aproximadamente 60 milhões de hectares, caindo de 203,6 em 2009 para 143,9 milhões de hectares em 2030 (Tabela 19). A redução da área de pastagens é resultado da melhoria dos índices zootécnicos provenientes do cenário de otimização do rebanho e da intensificação do pasto resultante da expansão das áreas das culturas e do restauro florestal, considerando a hipótese de desmatamento zero em todas as regiões brasileiras no cenário de legalidade.

A Tabela 16 mostra que, assim como a necessidade de reflorestamento será maior na região Norte Amazônia em 2030, a redução nas áreas de pastagens também será maior nesta região, caindo 25,3 milhões de hectares entre 2009 e 2030. Assim, devido à redução nas áreas de pastagens observadas no período analisado, houve a necessidade de realocação do rebanho entre as regiões do modelo, de forma que o ganho de produtividade em todas as regiões fosse semelhante e compatível com a evolução observada no passado.

Tabela 19 – Área de pastagens nas regiões do modelo em 2009 e 2030, em mil hectares, no Cenário de Reflorestamento de RL

| Região | 2009 | 2030 |
|----------------------|------------|------------|
| Sul | 17.664,65 | 9.281,27 |
| Sudeste | 41.439,97 | 32.590,04 |
| Centro-Oeste Cerrado | 50.385,22 | 38.799,26 |
| Norte Amazônia | 52.574,64 | 27.306,56 |
| Nordeste Litorâneo | 10.569,62 | 9.896,74 |
| MAPITO e Bahia | 30.966,56 | 25.992,52 |
| Brasil | 203.600,67 | 143.866,39 |

Fonte: ICONE

Em síntese, a alta necessidade de reflorestamento e sua concentração em algumas regiões exigirão uma forte redução nas áreas de pastagens, intensificação da pecuária e realocação do rebanho. Portanto, para este cenário a necessidade de investimentos na pecuária teria que ser muito maior que nos demais. Além disso, representaria uma mudança na distribuição geográfica da produção no país, acarretando em novas plantas de abate e processamento, vias de escoamento, e todos os demais processos que acompanham esta cadeia de produção.

Já a produção de grãos e das demais culturas se manteve estável nesse cenário em comparação com o cenário de referência. Isso foi possível graças à diminuição das áreas de pastagens que acomodou toda a necessidade de reflorestamento, não sendo necessária a diminuição das demais culturas. Isto significa que é possível, tecnicamente, cumprir com as restrições ambientais sem afetar a produção agrícola. No entanto, tal adequação acarretará em adoção de novas técnicas na pecuária, adaptação do pecuarista e, ainda, elevados custos de produção, como abordado pelo Tema D nesse estudo.

7.2.5 Cenário Agregado: Rebanho, Florestas de Produção, Etanol, Restauro

O último cenário de baixo carbono agrega todos os cenários anteriores: otimização do rebanho, alta exportação de etanol, aumento de florestas de produção e legalidade ou reflorestamento de Reserva Legal. Dessa forma, considerando desmatamento zero, os impactos sobre a mudança do uso da terra se apresentaram mais significativos em relação aos cenários anteriores. Esta seção faz uma análise completa dos impactos sobre o uso da terra e produção agropecuária para o Brasil e para as seis regiões consideradas no modelo.

A Figura 8 mostra a comparação dos resultados de uso da terra de todos os cenários analisados para o Brasil, para os anos de 2006, 2008 e 2030. Em comparação com o cenário de referência, o maior impacto sobre o uso da terra no cenário agregado ocorrerá sobre as áreas de pastagens, que passou de 207 para 138 milhões de hectares, no ano de 2030, respectivamente para cada cenário, com um rebanho de 208 milhões de cabeças (Tabela 20). Quando comparado com o cenário de otimização do rebanho, no qual o rebanho é também de 208 milhões de cabeças, as áreas de pastagens foram inferiores em 52,3 milhões de hectares no ano de 2030. Esse resultado pode ser explicado pela maior demanda por terra provenientes dos cenários de etanol, florestas de produção e de legalidade. Isso implica em um ganho mais

expressivo de produtividade nas pastagens para acomodar tal demanda, ou seja, o número de cabeças por hectare ou taxa de lotação cresceu significativamente em comparação com os cenários de referência e de otimização do rebanho.

Entre os anos de 2006 e 2030 se observará no Brasil um aumento de 11% na taxa de lotação no cenário otimização do rebanho e uma taxa de crescimento anual de 0,46%. Já no último cenário de baixo carbono este incremento será significativamente maior, apresentando uma taxa de crescimento anual de 2% ao ano e um aumento de 53% no mesmo período.

Um dos principais pontos a ser analisado neste cenário são os impactos sobre o uso da terra nas regiões consideradas no modelo. Nas regiões Norte Amazônia, Sudeste e Centro-Oeste as áreas de pastagens serão, no período analisado, reduzidas em 25, 12 e 9 milhões de hectares, respectivamente, a partir dos dados da Figura 9. Porém, as razões que levarão a essa redução são bem diferentes entre as regiões citadas. A Tabela 21 mostra os resultados regionais do uso da terra para alguns produtos selecionados.

| | | Referência | | Baixo Carbono | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------|----------------|----------------------------------|----------------|---------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------------|----------------|---------|
| | | | | Rebanho-Floresta-Etanol-Restauro | | Rebanho | | Rebanho com Floresta | | Rebanho com Etanol | | Rebanho com Restauro | | |
| 2006 | 2008 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | |
| Grãos (1a safra) | 38,937 | 37,794 | 47,917 | 8,980 | 47,860 | 8,923 | 48,005 | 9,068 | 48,005 | 9,068 | 47,860 | 8,923 | 48,005 | 9,068 |
| Cana de açúcar | 6,179 | 8,235 | 12,700 | 6,521 | 19,188 | 13,009 | 12,631 | 6,452 | 12,631 | 6,452 | 19,188 | 13,009 | 12,631 | 6,452 |
| Floresta de produção | 5,269 | 5,874 | 8,450 | 3,181 | 11,174 | 5,905 | 8,450 | 3,181 | 11,174 | 5,905 | 8,450 | 3,181 | 8,450 | 3,181 |
| Pastagens | 208,889 | 205,381 | 207,060 | -1,829 | 137,820 | -71,069 | 190,097 | -18,792 | 188,049 | -20,840 | 180,521 | -28,368 | 143,866 | -65,023 |
| Restauro | 0 | 0 | 0 | 0 | 44,344 | 44,344 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44,344 | 44,344 |
| Total Área Agropecuária | 259,275 | 257,284 | 276,127 | 16,852 | 216,042 | -43,233 | 259,183 | -92 | 259,859 | 584 | 256,019 | -3,256 | 212,952 | -46,323 |
| Rebanho (mil cabeças) | 205,886 | 201,410 | 234,460 | 28,573 | 208,002 | 2,116 | 208,025 | 2,139 | 208,025 | 2,139 | 208,099 | 2,213 | 208,024 | 2,138 |

Figura 8 – Comparação de resultados de uso da terra de todos os cenários para o Brasil

Fonte: ICONE

| | | | Baixo Carbono | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------------|----------------|----------------------------------|----------------|---------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | | | Referência | | Rebanho-Floresta-Etanol-Restauro | | Rebanho | | Rebanho com Floresta | | Rebanho com Etanol | | Rebanho com Restauro | |
| Regiões | 2006 | 2008 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 | 2030 | Var. 2030-2006 |
| Brasil | 208,889 | 205,381 | 207,060 | -1,829 | 137,820 | -71,068 | 190,097 | -18,792 | 188,049 | -20,840 | 180,521 | -28,368 | 143,866 | -65,023 |
| Sul | 18,146 | 17,603 | 13,264 | -4,881 | 9,564 | -8,581 | 12,606 | -5,540 | 12,606 | -5,540 | 11,480 | -6,666 | 9,281 | -8,864 |
| Sudeste | 44,053 | 41,865 | 39,565 | -4,488 | 27,718 | -16,335 | 39,678 | -4,375 | 38,038 | -6,015 | 36,138 | -7,915 | 32,590 | -11,463 |
| Centro-Oeste Cerrado | 51,200 | 50,636 | 48,395 | -2,806 | 38,285 | -12,916 | 47,338 | -3,863 | 47,256 | -3,944 | 43,525 | -7,676 | 38,799 | -12,401 |
| Norte Amazônia | 52,551 | 53,728 | 64,624 | 12,074 | 26,981 | -25,569 | 51,879 | -671 | 51,716 | -834 | 51,718 | -833 | 27,307 | -25,244 |
| Nordeste Litorâneo | 10,801 | 10,487 | 10,812 | 11 | 9,682 | -1,120 | 10,196 | -605 | 10,196 | -605 | 9,981 | -820 | 9,897 | -904 |
| Mapito e Bahia | 32,138 | 31,061 | 30,399 | -1,739 | 25,590 | -6,548 | 28,401 | -3,738 | 28,237 | -3,901 | 27,681 | -4,457 | 25,993 | -6,146 |

Figura 9 – Comparação de resultados de área de pastagens de todos os cenários para o Brasil e regiões

Fonte: ICONE

Tabela 20 – Resultados do rebanho bovino, cenários de referência, otimização de rebanho e agregado (em mil cabeças)

| | Referência | | | Otimização do Rebanho | Rebanho-Floresta-Etanol-Restauração |
|--------------------|------------|---------|---------|-----------------------|-------------------------------------|
| | 2006 | 2008 | 2030 | 2030 | 2030 |
| Brasil | 205.886 | 201.410 | 234.460 | 208.025 | 208,002 |
| Sul | 27.200 | 26.607 | 27.342 | 25.673 | 27,590 |
| Sudeste | 39.209 | 37.525 | 36.266 | 37.548 | 39,944 |
| Centro-Oeste | 56.445 | 55.506 | 63.238 | 58.086 | 70,644 |
| Norte Amazônia | 47.391 | 47.149 | 68.064 | 49.901 | 27,951 |
| Nordeste Litorâneo | 8.665 | 8.156 | 8.958 | 8.372 | 8,587 |
| MAPITO e Bahia | 26.977 | 26.468 | 30.592 | 28.446 | 33,287 |

Fonte: ICONE

Tabela 21 – Resultados de uso da terra e rebanho para produtos selecionados, cenário agregado

| | 2006 | 2018 | 2030 |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Cana-de-açúcar (mil hectares) | | | |
| Sul | 483,25 | 1.033,71 | 1.604,67 |
| Sudeste | 3.944,35 | 7.524,12 | 11.146,98 |
| Centro-Oeste | 500,59 | 1.586,56 | 2.594,07 |
| Norte Amazônia | 112,63 | 176,25 | 259,31 |
| Nordeste Litorâneo | 978,68 | 1.217,86 | 1.435,27 |
| MAPITO e Bahia | 159,77 | 921,01 | 2.145,76 |
| Reflorestamento (mil hectares) | | | |
| Sul | | 1.497,35 | 3.294,18 |
| Sudeste | | 2.900,25 | 6.380,55 |
| Centro-Oeste | | 3.577,29 | 7.870,04 |
| Norte Amazônia | | 11.169,51 | 24.572,92 |
| Nordeste Litorâneo | | 135,97 | 299,13 |
| MAPITO e Bahia | | 876,17 | 1.927,58 |
| Pastagens (mil hectares) | | | |
| Sul | 18.145,56 | 14.264,07 | 9.564,48 |
| Sudeste | 44.052,98 | 36.552,75 | 27.718,43 |
| Centro-Oeste | 51.200,45 | 45.065,89 | 38.284,66 |
| Norte Amazônia | 52.550,55 | 41.681,69 | 26.981,17 |
| Nordeste Litorâneo | 10.801,06 | 10.276,62 | 9.681,55 |
| MAPITO e Bahia | 32.138,30 | 29.306,12 | 25.590,19 |
| Rebanho (mil cabeças) | | | |
| Sul | 27.200 | 25.911 | 27,590 |
| Sudeste | 39.209 | 36.574 | 39,944 |
| Centro-Oeste | 56.445 | 61.847 | 70,644 |
| Norte Amazônia | 47.391 | 43.174 | 27,951 |
| Nordeste Litorâneo | 8.665 | 8.772 | 8,587 |
| MAPITO e Bahia | 26.977 | 29.550 | 33,287 |

Fonte: ICONE

No caso da região Norte Amazônia, quase toda a redução na área de pastagens é explicada pela área necessária para recompor o passivo de Reserva Legal, de 24,6 milhões de hectares. Isso também implicará em uma redução significativa do rebanho bovino de 22 milhões de cabeças em 2030, em relação ao cenário de otimização do rebanho. Ainda assim haverá um ganho na taxa de lotação da pecuária nessa região de 15% entre 2006 e 2030, representando uma taxa de crescimento anual de 1% no período. Em relação ao cenário de referência, haverá uma extrema mudança no uso da terra. Isso se deve, em particular, a hipótese de desmatamento zero nos cenários de baixo carbono, além da recuperação do passivo de Reserva Legal. Assim, pode-se dizer que o desmatamento evitado neste cenário será de 37 milhões de hectares em relação ao cenário de referência, no final do período.

Apesar da redução significativa nas áreas de pastagens, o rebanho permanecerá estável no Sudeste e aumentará em 12,6 milhões de cabeças no Centro-Oeste em 2030, em relação ao cenário de otimização do rebanho. A expansão do rebanho no Centro-Oeste é, em grande parte, explicada pela perda expressiva de rebanho no Norte Amazônia. Os ganhos de produtividade serão de 62% no Sudeste e 67% no Centro-Oeste entre 2006 e 2030 neste último cenário de baixo carbono. As taxas de crescimentos anuais da taxa de lotação nesse período para as duas regiões serão de, respectivamente, 2,22% e 2,20%, atingindo 1,44 e 1,85 cabeças por hectare em 2030.

No caso do Sudeste, a intensificação da pecuária é explicada pela expansão nas áreas de cana-de-açúcar (que atingiu, 11,2 milhões de hectares em 2030), florestas de produção (5 milhões de hectares) e reflorestamento (6,4 milhões de hectares). Estes produtos somados resultarão em uma expansão de 16 milhões de hectares entre 2006 e 2030. Apesar do incremento na área de cana-de-açúcar, o Sudeste perderá participação deste produto no Brasil, de 68% em 2006 para 62% em 2030. Em contrapartida, o Centro-Oeste e a região MAPITO e Bahia aumentarão individualmente essa participação em cinco pontos percentuais no mesmo período, incorporando quase toda a perda do Sudeste.

Comparando-se com o cenário de otimização do rebanho, o Sudeste também perderá participação na produção de cana-de-açúcar. Em relação às florestas de produção, esta região representou 43% de toda a expansão brasileira, devido à forte concentração da indústria siderúrgica nessa região.

Além da expansão de área de cana-de-açúcar, a intensificação da pecuária observada no Centro-Oeste será, principalmente, resultado do reflorestamento destinado à recomposição da Reserva Legal, que apresentava um passivo de 7,9 milhões de hectares.

Em resumo, pode-se dizer que o cenário agregado de baixo carbono implica em, além do desmatamento zero, um processo mais intenso de redução das áreas de pastagens para absorver a expansão das áreas de agricultura, florestas de produção e reflorestamento em todas as regiões brasileiras, em especial no Sudeste e Centro-Oeste.

A Figura 10 compara, para os cenários de referência e agregado (rebanho-etanol-florestas-restauro) a evolução do uso da terra para os grãos (primeira safra), cana-de-açúcar, pastagens, florestas de produção e restauro florestal (este somente para o cenário agregado) de 2006 a 2030. Pode-se observar que, em resumo, enquanto o cenário de referência apresenta avanço de área total de agropecuária, no cenário de baixo carbono agregado esta área total é congelada (conforme a hipótese de desmatamento zero). Assim, todas as culturas e o reflorestamento expandem sobre as áreas de pastagens, necessitando de um processo de intensificação da pecuária mais expressivo. Vale destacar que o restauro florestal representa 21% da área agropecuária total (considerando as áreas das culturas mais pastagens).

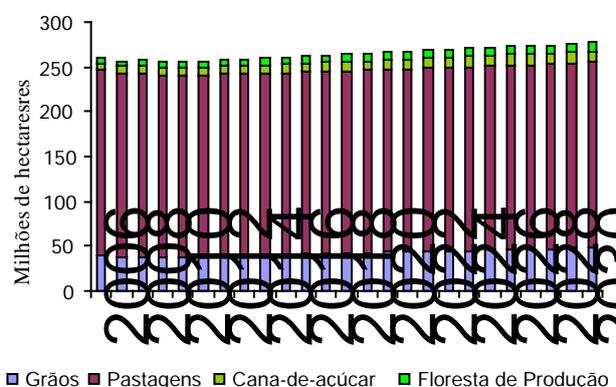


Figura 10 – Resultados cenário de referência (gráfico à esquerda) e cenário agregado de baixo carbono (gráfico à direita)

Fonte: ICONE

No arquivo em Excel, nomeado “ICONE_CenarioBaixoCarbono_MicroRegioes.xls”¹³, seguem os resultados do cenário agregado (rebanho-etanol-florestas-restauro) desagregados por microrregião brasileira. O arquivo possui uma aba para cada cultura considerada no modelo, incluindo o restauro florestal.

¹³ O arquivo em Excel com os resultados projetados em alocação de área por atividade e por microrregião poderá ser disponibilizado mediante solicitação. E-mail para contato: lharfuch@iconebrasil.org.br.

Os resultados com as saídas do modelo, ou seja, nas 6 macrorregiões, estão no arquivo em Excel “ICONE_Cenários Referencia e Baixo Carbono_6macrorregioes.xls”¹⁴. A próxima seção faz algumas considerações finais.

¹⁴ Disponível em: <http://www.iconebrasil.org.br/>

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou o Modelo de Uso da Terra desenvolvido pelo ICONE, como ele está inserido no “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil”, e quais resultados foram obtidos no cenário de referência e nos cenários de baixo carbono. O objetivo principal foi utilizar o modelo de uso da terra desenvolvido pelo ICONE para analisar e projetar como ocorre a evolução do uso da terra em um horizonte temporal de 22 anos utilizando cenários específicos de forma a atender aos objetivos do estudo. Nas sessões 2 a 6, foi feito um esforço de explicar a metodologia adotada, isto é, o funcionamento do modelo, os dados utilizados para alimentá-lo e os cenários construídos. A seção 7 apresentou os resultados de forma resumida para o cenário de referência e para cada um dos cinco cenários de baixo carbono.

O cenário de referência indica que a produção agropecuária brasileira crescerá de maneira significativa entre 2006 e 2030, o que representará um pequeno aumento da área total ocupada. De maneira agregada, observa-se crescimento acentuado das áreas de cana-de-açúcar e soja e leve queda de pastagens, repetindo a dinâmica observada no passado recente.

A incorporação de áreas com vegetação nativa pela agropecuária ocorre neste cenário, pois se pressupõe que não hajam políticas públicas eficientes para controlar o desmatamento. Tal cenário representa as condições de oferta e demanda da mesma forma como se observou no passado (cenário business as usual), onde os agentes privados maximizam seus retornos com a produção agropecuária.

Já nas cinco diferentes combinações de cenários de baixo carbono, parte-se do princípio que não haverá mais desmatamentos, mantendo a área disponível para agropecuária congelada durante todo o período. Para a efetiva adoção de tal medida, é necessária uma forte alteração nas políticas públicas de modo a modificar os incentivos dos agentes envolvidos no processo.

Em todos os cenários considerados – otimização do rebanho, alta exportação de etanol, aumento de florestas de produção, legalidade e todos os demais juntos – a diminuição das áreas de pasto é o fator chave para acomodar todos os usos da terra e aumentar (ou manter) as produções agrícolas. A diminuição das pastagens combinada com aumento da produção pecuária, como já detalhado na seção de resultados, acontece devido a melhorias dos índices zootécnicos, o que por sua vez representa um aumento de custos de produção. Assim, esse alto custo imposto ao setor só ocorrerá de fato se houverem incentivos para tal e representam uma ruptura na dinâmica atual do setor no que diz respeito às tecnologias adotadas.

O cenário de legalidade foi aquele que apresentou maior restrição ao avanço das demais culturas, pois considerou o reflorestamento de 44,3 milhões de hectares no país. Este reflorestamento ocorreu em áreas de pastagens e assim, para que fosse mantida a liberação de áreas para as demais culturas, foi necessário um choque tecnológico na pecuária.

Assim, espera-se que os cenários apresentados contribuam para um novo direcionamento do uso e ocupação do solo no país dentro de um contexto de mudanças climáticas. Considerando a importância das emissões brasileiras de gases de efeito estufa provenientes das mudanças do uso da terra e desflorestamento, o presente relatório contribui sobremaneira para o debate da sua mitigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/portallbio>>. Acesso em 23 de março de 2008.

BRASIL, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano nacional de energia 20230 - PNE/2030**. 408 p. ISBN: 978-85-60025-02-2 Rio de Janeiro. 2007. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em 5 dezembro 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Central de informações agropecuárias – safras**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=1012008>>. Acesso em 3 de junho de 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema de monitoramento agrometeorológico - Agritempo**. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em fevereiro de 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Aquecimento Global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 83p. Posigraf. Agosto 2008.

FOOD AND AGRICULTURAL POLICY RESEARCH INSTITUTE – FAPRI. **FAPRI Models**. Disponível em <<http://www.fapri.iastate.edu/models>>. Acesso em 8 de janeiro de 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal 2007 - PAM**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>>. Acesso em 9 de novembro 2008a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal 2007 - PPM**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/default.asp>>. Acesso em 8 Novembro 2008b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2007**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=v&p=VS&z=t&o=17>>. Acesso em 9 de setembro de 2008c.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Projeto PRODES - monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em 20 de outubro de 2008.

NÚCLEO INTERDISCIPLINAR DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO NIPE; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo - Relatório final**. 320p. Dezembro 2005.

WALTER, Arnaldo; ROSILLO-CALLE, Frank; DOLÍAN, Paulo, PIACENTE, Eric; CUNHA, Kamyla B.. **Perspectives on fuel ethanol consumption and trade**. Biomass and bioenergy, 23 (2008) p.730-748. Disponível em www.elsevier.com/locate/biombioe. Acesso em 8 de junho de 2008.

ANEXO

O Anexo A mostra a comparação das produtividades entre diferentes culturas e os principais países produtores (Tabela 22).

Tabela 22 – Comparação dos níveis de produtividade entre diferentes culturas e países (em ordem decrescente de produtividade em 2007/2008)

| Soja | | | |
|---------------------|-----------|-----------|--|
| País | 2006/2007 | 2007/2008 | |
| Brasil | 2,85 | 2,86 | |
| Estados Unidos | 2,88 | 2,81 | |
| Argentina | 2,99 | 2,78 | |
| Algodão | | | |
| País | 2006/2007 | 2007/2008 | |
| Brasil | 1,39 | 1,49 | |
| China | 1,29 | 1,30 | |
| Estados Unidos | 0,91 | 0,99 | |
| Arroz | | | |
| País | 2006/2007 | 2007/2008 | |
| China | 6,28 | 6,43 | |
| Indonésia | 4,60 | 4,66 | |
| Brasil | 3,81 | 4,20 | |
| Milho | | | |
| País | 2006/2007 | 2007/2008 | |
| Estados Unidos | 9,36 | 9,46 | |
| União Européia (27) | 6,34 | 5,67 | |
| China | 5,33 | 5,17 | |
| Brasil | 3,64 | 3,99 | |

Fonte: USDA. Elaboração: ICONE.

Pode-se observar a partir da tabela acima que, na safra 2007/2008, o Brasil apresentou o maior nível de produtividade nas culturas de soja e de algodão em relação aos principais produtores do mundo. Para as outras culturas, o Brasil se encontra entre os quatro países mais produtivos. Assim, pode-se afirmar que o Brasil está na fronteira tecnológica em relação às principais culturas consideradas no modelo de uso da terra do ICONE e justifica o fato de que não deve haver choques tecnológicos nas mesmas até 2030, apenas ganhos de produtividade como tendência ao longo do tempo, conforme considerado no modelo.

Em relação à cana-de-açúcar existe uma alguma dificuldade em comparar produtividades entre países. A produtividade, medida em toneladas de cana-de-açúcar por

hectare não é um índice adequado para medir a produtividade de açúcar e etanol por hectare. Esta depende do conteúdo de açúcar que pode ser extraído do caldo da cana-de-açúcar, além dos métodos industriais que variam significativamente entre países. Adicionalmente, açúcar e etanol utilizam diferentes insumos agrícolas em regiões distintas, dificultando ainda mais a disponibilidade de dados e comparações diretas.

Na figura 11 são reportados os valores estimados de produtividade de cana-de-açúcar, levantados em revisão da bibliografia especializada.

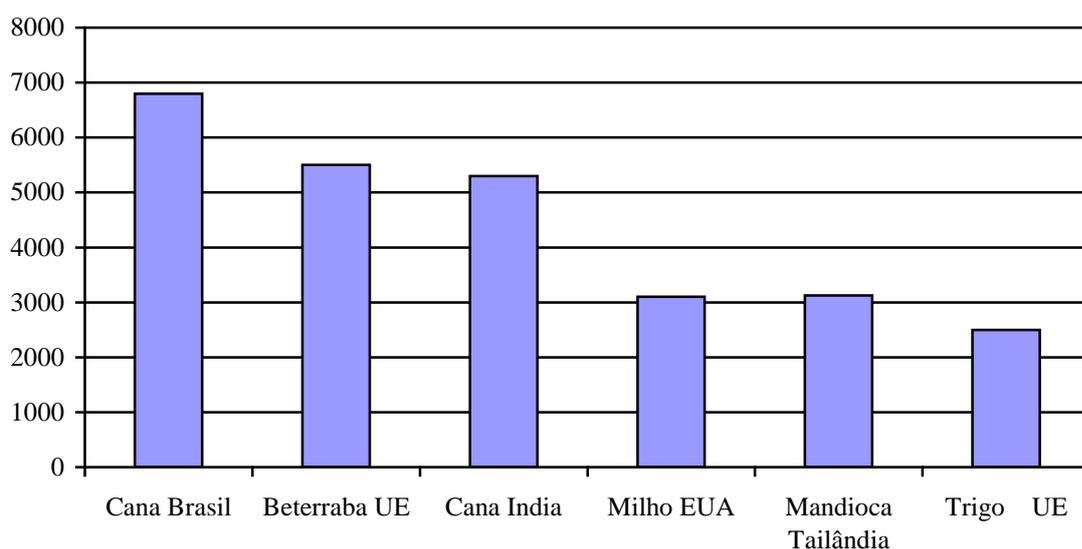


Figura 11 – Produtividade do etanol em diferentes países (litros por hectare)

Fonte: International Energy Agency e Promon, adaptado pelo ICONE.

Verifica-se que o etanol de cana-de-açúcar produzida com a tecnologia padrão no Brasil usa quase a metade da área necessária para a produção de etanol de milho nos EUA, e 30% menos de área que o etanol produzido na Índia, que também usa a cana-de-açúcar como insumo.