



C. 023/2015 – GEPRO/FEA

Brasília, 26 de janeiro de 2015.

A Senhora
Priscila Santos
Subsecretaria de Desenvolvimento Sustentável
Secretaria de Assuntos Estratégicos
Presidência da República

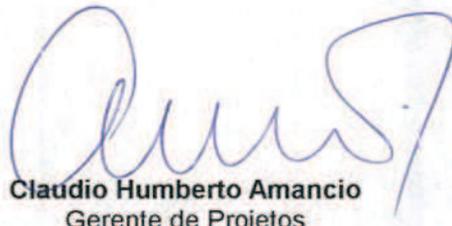
Referência: Projeto BRA 06/032 – PRIVADOS – C/C 96.518-9 Entrega do 5º Produto - Complemento

Prezada Senhora,

Em conformidade com a Carta de Acordo nº 25760/2014 na qual estabelece parceria entre o PNUD e a Fundação Eliseu Alves para elaboração de pesquisas a condução de grupos de discussão e a elaboração de subsídios técnicos conclusivos relacionados à área temática de Adaptação às Mudanças do Clima, vimos pela presente oficializar a entrega do quinto produto – ***“Relatório de análise de produção agropecuária e alocação de terra com mudança do clima, para 2040, a partir de modelo econômico”***, enviado pela Dr^a Leila Harfuch da Empresa Agroicone com as alterações pertinentes.

Sem mais para o momento subscrevemo-nos ao inteiro dispor de Vossas Senhorias, para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários.

Atenciosamente,



Claudio Humberto Amancio
Gerente de Projetos



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

AGROICONE
AGRICULTURA, ENERGIA E SUSTENTABILIDADE



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

Produto 5: Relatório Parcial

**Adaptação às mudanças do clima: impactos
sobre a agricultura brasileira**

Fundação Eliseu Alves

PROJETO BRA/06/032 – BRASIL TRÊS TEMPOS

CARTA DE ACORDO Nº 25760/2014

São Paulo-SP

18 de janeiro de 2015



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

Sumário

CONTEXTO	3
1. Introdução	4
2. Metodologia	6
2.1. Metodologia para simulação dos cenários climáticos	11
3. Premissas para o cenário de referência	12
4. Resultados para o cenário de referência	15
5. Resultados do simulador SCENAGRI-Embrapa: dados de entrada no BLUM	18
6. Considerações Finais	23
Referências Bibliográficas	26



CONTEXTO

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações serão realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de grande importância para o planejamento estratégico brasileiro. Para tanto, o projeto foca no tema da Adaptação às Mudanças Climáticas.

A agricultura tem um papel importante nesse contexto, pois é fortemente impactada pela mudança climática. Devido à enorme importância do setor agrícola na economia do País, é preciso melhor conhecer os efeitos e as opções de adaptação do setor agrícola às mudanças do clima no Brasil. Dessa forma, a SAE/PR propôs uma avaliação dos prováveis impactos de diferentes cenários climáticos para o Brasil, bem como as estratégias alternativas de adaptação em um horizonte de 30 anos (2010-2040). Neste contexto, estudos estratégicos setoriais irão subsidiar as medidas de adaptação às mudanças climáticas.

A Tabela A apresenta as atividades e os produtos esperados conforme carta de acordo de cooperação técnica 25760/2014, “Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Agricultura.

Tabela A – Produtos esperados para o estudo de cooperação técnica do setor agropecuário

Ação / Produto	Produto esperado / Forma de entrega dos resultados
1	Linha de base de produção agropecuária e alocação de terra para o período 2010-2040.
2	Relatório referente à preparação do simulador de cenários de cultura para a utilização de modelos climáticos regionalizados.
3	Relatório da simulação dos cenários para as principais culturas brasileiras em 2040.
4	Relatório de análise comparativa das culturas nos cenários simulados para 2040 em relação à condição atual.
5	Relatório de análise de produção agropecuária e alocação de terra com mudança do clima, para 2040, a partir de modelo econômico.
6	Análise de vulnerabilidade econômica do sistema de produção das principais culturas brasileiras.
7	Relatório de análise das possíveis medidas adaptativas identificadas.
8	Relatório final.



Este relatório refere-se ao Produto 5 da Tabela A “Relatório de análise de produção agropecuária e alocação de terra com mudança do clima, para 2040, a partir de modelo econômico”.

Importante ressaltar que o Produto 5 previa a entrega de todos os cenários climáticos simulados na modelagem econômica para o setor agropecuário (cenários base, HadGen RCP 4.5, HadGen RCP 8.5, Miroc RCP 4.5 e Miroc RCP 8.5), incorporando os resultados simulados previamente no SCENAGRI-Embrapa. Entretanto, devido a interação com o setor de energia do Projeto (mais especificamente biocombustíveis e biomassa lenhosa), os mesmos cenários não foram finalizados, inviabilizando cumprir com todas as atividades previstas para o Produto 5.

Além disso, devido ao atraso nos recebimentos dos cenários para o setor de energia, há a necessidade de adaptar as atividades e o conteúdo do Produto 7 descrito no Plano de Trabalho, que deverá incorporar os resultados dos cenários climáticos simulados na modelagem econômica (prevista no Produto 5). O Produto 8 irá incluir as medidas de adaptação a partir dos resultados mensurados e será o relatório final deste estudo.

Deste modo, o presente relatório descreve a metodologia utilizada (para cenário de referência e futura simulação dos cenários climáticos), os resultados para o cenário de referência para 2040 (revisado em relação ao Produto 1) e as restrições produtivas para o setor agropecuário adaptados para a modelagem econômica a partir dos cenários climáticos simulados no SCENAGRI-Embrapa.

1. Introdução

A agricultura é um importante setor da economia brasileira, que responde por cerca de 5,5% do PIB (25% quando o agronegócio é incluído) e por 36% das exportações do país. De acordo com o censo agropecuário de 2006, o Brasil possui 5 milhões de propriedades rurais das quais 85% pertencem a pequenos proprietários e 16% são grandes fazendas comerciais que ocupam 75% da terra cultivada. Em 2009, o Brasil apresentou um saldo comercial positivo agrícola de US\$55 bilhões. Como a agricultura é essencial para a segurança alimentar nacional e exerce uma forte atuação sobre o aumento do PIB, existe



uma crescente preocupação com o fato de que o setor está cada vez mais vulnerável às variações e às mudanças climáticas.

A agricultura tem um papel importante no ciclo do carbono já que ao mesmo tempo em que se configura como fonte de emissões de gases de efeito estufa – causa principal do aquecimento global – também pode ser fortemente impactada pela mudança climática. Devido à enorme importância do setor agrícola na economia do País, é preciso melhor conhecer os efeitos e as opções de adaptação do setor agrícola às mudanças do clima no Brasil.

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, na sigla em inglês) aponta que a mudança do clima impõe uma grande ameaça ao desenvolvimento sustentável, por afetar de forma direta e indireta grande parte da população, sua saúde, os recursos hídricos, a infraestrutura urbana e rural, as zonas costeiras, as florestas e a biodiversidade, bem como os setores econômicos – como agricultura, pesca, produção florestal, geração de energia, indústrias – além das cadeias destes setores. O IPCC sinaliza impactos de grande magnitude sobre a América do Sul, em especial sobre recursos hídricos e setores econômicos relacionados, impondo ao governo brasileiro a necessidade de formular e implementar medidas de adaptação, com vistas a gerenciar riscos climáticos e responder de forma tempestiva aos prováveis impactos decorrentes da mudança global do clima. Desta forma, torna-se fundamental a elaboração de subsídios ao planejamento nacional de longo prazo que incorpore a mudança do clima.

Entre os estudos mais recentes aplicados para o Brasil, Assad et al. (2013) simulou diferentes modelos climáticos globais e regionais e os impactos do clima sobre a produção agrícola e concluiu que a agricultura é vulnerável a temperaturas mais elevadas. O estudo também enfatiza que poderá haver migração regional da produção agropecuária deslocando a produção para regiões menos afetadas, impactando o desenvolvimento econômico local.

Este estudo tem como objetivo de avaliar os impactos dos cenários de mudanças climáticas (IPCC, 2014) sobre o setor agropecuário brasileiro sob a ótica econômica, e avaliar possíveis medidas adaptativas às restrições produtivas.

Especificamente para este relatório são apresentados a metodologia (seção 2); as premissas para o cenário de referência (seção 3); os resultados finais para o cenário de referência (seção 4); os dados de entrada para a modelagem econômica dos cenários climáticos (seção 5) e considerações finais (seção 6).



2. Metodologia

De forma a captar as dinâmicas do uso da terra, oferta e demanda dos principais produtos do setor agropecuário brasileiro, para simular os cenários de referência e de mudanças do clima, foi utilizado o modelo BLUM – Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira. Utilizou-se também o modelo de alocação por microrregião do IBGE, descritos a seguir.

BLUM é um modelo econômico dinâmico de equilíbrio parcial, multi-regional e multi-mercados para o setor agropecuário brasileiro composto por dois módulos: *oferta e demanda e uso da terra*.

O modelo inclui os seguintes produtos: soja, milho (primeira e segunda safras), algodão, arroz, feijão¹ (safras de verão e de inverno), cana-de-açúcar, trigo, cevada, pecuária de leite e de corte, carnes bovina, suína e de frango e ovos. As florestas comerciais são consideradas como projeções exógenas no modelo. Combinadas, estas atividades foram responsáveis por 95% da área total utilizada para a produção agropecuária em 2008.

As “safrinhas” ou culturas de inverno como milho, feijão, cevada e trigo não geram demanda adicional por terra por serem plantadas após uma cultura principal de primeira safra (ou safra de verão). No entanto, a produção destas safras é contabilizada na oferta nacional de cada uma destas lavouras.

No módulo de *oferta e demanda*, a demanda total por uma atividade é projetada nacionalmente e formada pela demanda doméstica, exportações líquidas (exportações menos importações) e estoques finais (os quais não são considerados para pecuária, carnes e cana-de-açúcar) e respondem a preços e a variáveis exógenas (como PIB, população, taxa de câmbio, entre outras).

A oferta é formada pela produção nacional (a qual é projetada regionalmente) e pelos estoques iniciais (novamente considerados apenas para grãos e seus complexos, açúcar e etanol) e respondem às rentabilidades de cada commodity, as quais dependem de custos, preços e produtividades.

¹ O Brasil possui três safras de feijão, divididas a partir do período de plantio e colheita. No modelo BLUM, a produção de feijão foi dividida nas safras de verão (que compete por terra com outros usos) e de inverno (que não compete por terra com lavouras plantadas durante o verão).



A área total alocada pra agricultura e pecuária é calculada para seis regiões², como mostra a Figura 1:

- Sul (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul);
- Sudeste (estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, e Minas Gerais);
- Centro-Oeste Cerrado (estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e parte do estado do Mato Grosso dentro dos biomas Cerrado e Pantanal);
- Norte Amazônia (parte do estado do Mato Grosso dentro do bioma Amazônia, Amazonas, Pará, Acre, Amapá, Rondônia e Roraima);
- Nordeste Litorâneo (Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe);
- Nordeste Cerrado (Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia).

Oferta e demanda nacional e o uso da terra regional responde a preços. Consequentemente, para um dado ano, o equilíbrio é obtido quando se encontra um vetor de preços que equilibra todos os mercados simultaneamente. Ano a ano, uma sequência de vetores de preços é estimada, permitindo avaliar a trajetória dos mercados ao longo do tempo. Os resultados do modelo são: uso da terra regional, produção nacional e regional, preços, consumo e exportações líquidas.

A área alocada para cada região no módulo de uso da terra é parte da oferta no módulo de oferta e demanda, garantindo a interação entre esses dois módulos tal que a seguinte identidade é satisfeita:

$$\text{Estoque inicial} + \text{Produção} + \text{Importações} = \text{Estoque final} + \text{Consumo} + \text{Exportações}$$

Ou, considerando que $\text{Exportações líquidas} = \text{Exportações} - \text{Importações}$:

$$\text{Estoque inicial} + \text{Produção} = \text{Estoque final} + \text{Consumo} + \text{Exportações líquidas}$$

² As regiões foram divididas a partir da homogeneidade da produção agrícola e da divisão dos biomas.



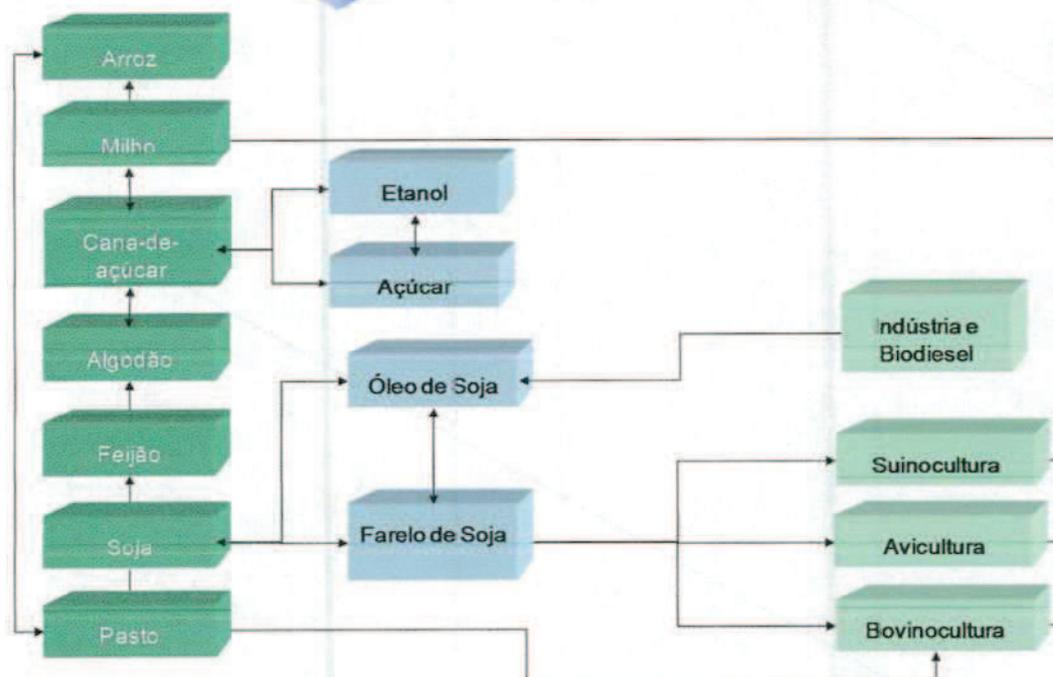
Figura 1 – Regiões consideradas no Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira - BLUM



Fonte: ICONE (2014)

O BLUM também considera as interações entre os setores analisados, assim como entre um produto e seus subprodutos. Por exemplo, a relação entre os grãos e a pecuária ocorre a partir do consumo de ração (basicamente milho e farelo de soja) que é função da oferta de carnes, leite e ovos, sendo um componente da demanda doméstica de milho e soja. No caso do complexo de soja, farelo e óleo de soja são parte da demanda doméstica de soja em grão e são determinados pela demanda por esmagamento. Similarmente, açúcar e etanol são componentes da demanda por cana-de-açúcar (Figura 2).

Figura 2. Interações entre os produtos e setores no BLUM

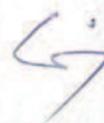


Fonte: ICONE (2014)

A dinâmica do uso da terra está dividida em dois efeitos: *competição* e *escala*. Intuitivamente, o efeito competição representa como as diferentes atividades agropecuárias competem por uma dada quantidade de terra arável disponível. O efeito escala se refere à maneira pela qual a competição entre as diferentes atividades geram uma necessidade adicional por terra. Esta necessidade é acomodada pela expansão da área total da agropecuária sobre vegetação nativa.

O efeito competição consiste em um sistema de equações que aloca a participação da área agropecuária para cada lavoura e pasto em cada região como função das rentabilidades (própria e das competidoras). Ele estabelece que, para uma dada quantidade de terra para agropecuária, o aumento na rentabilidade relativa de uma atividade irá resultar em um aumento da participação da área dedicada a esta atividade e reduzir a participação de área de suas competidoras.

As condições de regularidade (homogeneidade, simetria e adicionalidade) são impostas de forma que as matrizes de elasticidades (e seus coeficientes associados) são consistentes teoricamente. Para qualquer conjunto destes coeficientes são calculados os impactos e a competição entre as atividades. Assim, a partir desta estrutura, as simulações realizadas no BLUM permite calcular não apenas alocação de terra, mas também mudanças no uso da terra. Em outras palavras, as condições de regularidade permitem identificar a





substituição de área para cada atividade, considerando a quantidade total de área alocada para a agropecuária.

Para garantir ccerência das condições acima mencionadas, a área de pastagem é regional e endogenamente determinada. No contexto da agricultura Brasileira, é particularmente relevante projetar a área de pastagem tanto endogenamente quanto regionalmente, pois corresponde a, aproximadamente, 77% do total de área utilizada para agropecuária.

Apesar da competição entre as atividades representar a dinâmica das regiões onde a área agrícola é estável e próxima ao potencial arável, esta análise é insuficiente para o Brasil. No caso brasileiro, também é necessário analisar a dinâmica das regiões de fronteira agrícola. A história recente da agropecuária brasileira mostra que lavouras, florestas comerciais e pastagens combinadas respondem a incentivos de mercado e contribuem com a expansão da área total alocada para a agropecuária (Nassar et al., 2010). Isto é captado no efeito escala do BLUM. Este progresso metodológico é essencial para ajustar o modelo às realidades específicas da dinâmica do uso da terra brasileira.

O efeito escala se refere às equações que definem como as rentabilidades das atividades determinam a área total alocada para a produção agropecuária. Mais precisamente, a área total alocada para a agropecuária é uma participação da área arável total disponível em cada região, e responde às mudanças na rentabilidade média da agropecuária.

Os efeitos escala e competição não são independentes. Em conjunto, eles são os dois componentes das elasticidades-retorno próprias de cada atividade. Considerando a condição *ceteris paribus* (tudo o mais constante), o aumento na rentabilidade de uma atividade possui três efeitos: aumento na área total alocada para a agropecuária (a partir do retorno médio), aumento na área alocada para esta atividade (aumento de sua participação no total), redução na participação da área das outras atividades. Ao mesmo tempo, a elasticidade regional do uso da terra (elasticidade-área-retorno total) com relação à rentabilidade média é a soma das elasticidades escala de cada atividade. Assim, as elasticidades de competição podem ser calculadas diretamente a partir da elasticidade-área total, enquanto as elasticidades próprias (e asticidade-área com relação à rentabilidade da própria atividade) são obtidas a partir de análises econométricas e de revisão de literatura.



Após a simulação dos cenários no BLUM, os resultados podem ser alocados por microrregião do IBGE. O modelo de alocação por microrregião segue a estrutura do BLUM para o lado da oferta e aloca os impactos de um cenário específico por microrregião.

Os resultados do BLUM para área e produção em cada uma das seis regiões para soja, milho (primeira safra e total), arroz, algodão, feijão (safra de verão e total), cana-de-açúcar, rebanho bovino e pasto são alocados nas 558 microrregiões brasileiras.

A dinâmica do modelo alocação por microrregiões é baseada em duas etapas: primeiro aloca os resultados do BLUM em cada estado e depois distribui o resultado do estado para suas respectivas microrregiões.

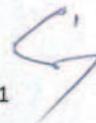
ICONE (2014) traz a descrição completa do BLUM e do modelo de alocação por microrregião.

Neste relatório (Produto 5), são apresentados os resultados da simulação no BLUM apenas para o cenário de referência (sem incorporar restrições climáticas), sendo os dados de entrada no BLUM que incorpora as restrições climáticas descritos na seção 2.1.

2.1. Metodologia para simulação dos cenários climáticos

Este estudo complementa as análises das simulações dos cenários climáticos obtidas a partir do simulador SCENAGRI-Embrapa, sob uma perspectiva econômica para o setor agropecuário brasileiro.

Os resultados gerados pelo simulador foram adaptados para serem incorporados como restrições ao crescimento de área para a produção agropecuária como um todo e para lavouras específicas, de acordo com as classificações de risco (alto e baixo) do SCENAGRI-Embrapa. Ou seja, este relatório descreve como os resultados obtidos pelo simulador SCENAGRI-Embrapa serão utilizados no modelo BLUM para simular os impactos regionais e econômicos sobre o setor agropecuário brasileiro a partir dos cenários climáticos analisados. Deste modo, este relatório não gerou resultados a partir do modelo BLUM (para os cenários climáticos), apenas mostra como os impactos sobre as lavouras irão afetar a disponibilidade de terra apta para produção a partir das tecnologias disponíveis hoje (sem incorporar novas tecnologias ou mudanças drásticas de manejo, que poderão ser analisadas como medidas de adaptação).





O módulo de uso da terra do BLUM (e do modelo de alocação por microrregião) foi adaptado para receber as restrições climáticas à produção agropecuária. No componente “efeito escala”, que refere-se à alocação de área total para o setor, a área total disponível para a expansão agropecuária (dados exógenos no modelo) foi restrita de acordo com o cenário simulado. Ou seja, espera-se que o aumento do risco associado à produção agropecuária devido às mudanças climáticas reduza o montante de área disponível para a expansão da produção (por microrregião e região BLUM).

No componente “efeito competição”, a área total alocada para cada lavoura será restrita às áreas potenciais de baixo risco de perda produtiva, em cada região.

Deste modo, a simulação dos cenários climáticos no modelo econômico para o setor agropecuário partirá da seguinte premissa: a produção agropecuária não poderá ocorrer em áreas de alto risco de perda de safra, de acordo com a classificação do simulador SCENAGRI-Embrapa. Somente uma exceção foi considerada nesta premissa: o fato de hoje haver produção em áreas classificadas como de alto risco produtivo. Neste caso, a expansão produtiva irá considerar (somar) as áreas potenciais de baixo risco climático e as áreas atualmente em produção sob alto risco (segundo a PAM, 2012), sob o argumento de que hoje a região já é tomadora de risco e continuará disposta a tal, independente da restrição climática. Esta exceção tornou-se importante pelo fato de existir atualmente quantidade significativa de áreas produtivas sob o risco de perdas produtivas, que não podem ser ignoradas no futuro (conforme descrito na seção 5).

Além dos resultados do simulador SCENAGRI-Embrapa para os cenários de mudanças climáticas, foram utilizados os resultados do grupo de energia (COPPE-PPE) para o cenário de referência (mais especificamente os dados até 2040 para biocombustíveis e biomassa lenhosa), assim como serão incorporados os resultados dos cenários climáticos quando disponibilizados à Agroicone. Assim, as interfaces deste relatório com os demais grupos do Projeto são feitas junto à Embrapa (restrições às áreas aptas para produção agropecuária) e à COPPE-PPE (para bioenergia).

3. Premissas para o cenário de referência

Para a simulação do cenário de referência (ou cenário base), sem incorporar os efeitos da mudança climática até o ano de 2040, foram utilizadas as premissas do Plano





Nacional de Energia 2050 (MME/EPE, 2014) e de outras fontes oficiais (como IBGE). O cenário mundial “arquipélago” e “pedalinho” para a economia nacional foram escolhidos para as projeções das variáveis macroeconômicas simuladas no BLUM e outras fontes também foram utilizadas para a simulação:

- PIB Brasil crescendo a 3,2% aa a partir de 2016 (Boletim Focus do Bacen de 08/08/2014 para 2014 e 2015);
- PIB Mundial crescendo a 3% aa;
- Preço do petróleo a U\$ 80/barril até 2020; U\$ 85 até 2030 e U\$ 90 até 2040;
- População brasileira crescendo a 0,4% aa (atingindo 225,5 milhões de pessoas) – base nas projeções IBGE.

Outras premissas macroeconômicas:

- População mundial crescendo a 0,85% aa, alcançando 9 bilhões em 2040 (ONU, 2014);
- Taxa de inflação brasileira a 4,5% aa, taxa decrescente até atingir 3,62% no final do período.

É importante enfatizar que premissas setoriais como de produção de biocombustíveis (biodiesel e etanol), e de biomassa lenhosa foram obtidas a partir dos resultados das simulações do grupo de Energia (COPPE). Para o cenário de referência, o grupo de energia gerou dois resultados para biocombustíveis e biomassa lenhosa, considerando os dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (GEE) do IPCC: *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5 (emissões moderadas de GEE) e 8.5 (emissões muito altas de GEE). Como o setor de energia e transportes são importantes emissores e também potenciais mitigadores de GEE, os resultados foram analisados separadamente, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Cenários de referência para produção de biocombustíveis e biomassa lenhosa

Variável	Unidade	RCP 8.5				RCP 4.5		
		2010	2020	2030	2040	2020	2030	2040
Etanol Anidro	10 ⁶ m ³	8.36	5.87	5.39	6.42	5.87	5.39	5.22
Etanol Hidratado	10 ⁶ m ³	19.57	17.92	24.39	32.49	17.92	24.39	35.69
Biodiesel	10 ⁶ m ³	1.50	1.90	2.39	2.99	1.90	2.39	2.99
Biomassa Lenhosa	milhões toneladas	83.70	108.83	172.87	225.57	137.10	167.98	219.13

Fonte: resultados do estudo

Os dados da Tabela 1 foram adaptados em equivalente área de florestas plantadas (para biomassa lenhosa) e, no caso dos biocombustíveis, em produção total de etanol e



biodiesel (utilizou-se a variação da produção entre 2010 e 2040 da Tabela 1 sobre os valores observados no BLUM em 2010³). Para a modelagem econômica do setor agropecuário e uso da terra, ao adaptar os dados para o BLUM para o cenário de referência, foi utilizado o cenário RCP 8.5 para os setores considerados, pois representa as condições atuais globais de emissões de GEE. Além disso, observou-se uma diferença inferior a 5% entre os cenários para todos os setores analisados, não influenciando a modelagem econômica de uso da terra. A causa da pequena diferença entre os cenários para o setor de bioenergia refere-se ao impacto relativamente pequeno das emissões de GEE sobre a alocação ótima de energia, gerado pelo grupo da COPPE-PPE.

Além da incorporação das informações acima no cenário de referência, devido as considerações durante o Workshop Brasil 2040 em novembro de 2014 em Brasília, as tendências de produtividades por hectare das lavouras foram revisadas, de acordo com a Tabela 2.

As taxas de crescimento das produtividades das lavouras foram calculadas a partir das seguintes premissas:

- (i) Não há incorporação de novas tecnologias produtivas em relação ao cenário atual (tais como: novas variedades de sementes; mudanças nos sistemas produtivos de lavouras; mudanças drásticas de manejo);
- (ii) As taxas de crescimento das produtividades foram calculadas a partir de análises entre as maiores produtividades médias mundiais para cada lavoura e considerando projeções de produtividade disponíveis na literatura.

Ou seja, as produtividades projetadas até 2040 para todos os cenários simulados refletem tanto os ganhos históricos de produtividade média quanto os máximos atuais (valores absolutos) observados nos principais países produtores de commodities agrícolas (como nos Estados Unidos e na União Europeia).

Tabela 2 – Produtividade média das lavouras por hectare: projeções para 2040 para Brasil

³ Importante informar que os dados do BLUM para 2010 são considerados como históricos e baseados em informações oficiais. A produção observada para 2010 da COPPE é ligeiramente diferente do BLUM, por isso foi



	Toneladas/hectare		Taxa de crescimento médio (% ao ano)		
	2010	2040	Período 2000-2014	Período 2015-2030	Período 2030-2040
Milho 1ª safra	4,41	6,42	3,78%	1,44%	0,94%
Milho 2ª safra	4,16	9,18	7,14%	2,39%	1,94%
Soja	2,93	4,32	1,18%	1,51%	1,31%
Algodão	3,63	5,12	3,11%	1,27%	1,10%
Arroz	4,22	6,98	3,85%	1,30%	1,07%
Feijão (verão)	0,72	1,20	1,59%	1,69%	1,54%
Feijão (inverno)	1,36	1,99	4,41%	1,30%	1,28%
Cana-de-açúcar	78,28	97,03	0,58%	1,11%	1,05%
Trigo	2,74	4,56	5,01%	2,07%	1,54%

Fonte: resultados do estudo

Assim, a restrição produtiva proveniente dos cenários climáticos será incorporada à expansão de área regional (conforme metodologia descrita na seção 2), mas não nas produtividades esperadas utilizadas no cenário de referência.

Entretanto, caso existam no mercado novas tecnologias que deverão deslocar as curvas de produtividades para cima (aumentando as taxas de crescimento da Tabela 1), estas poderão ser utilizadas como medidas de adaptação após analisados os resultados dos cenários climáticos. Para isso, são necessárias duas informações de especialistas: quanto que a nova tecnologia poderá deslocar a curva de produtividade (ou qual o máximo valor absoluto da produção por hectare para cada lavoura); e como irá ocorrer a adoção da nova tecnologia (qual a curva de adoção dos produtores às novas tecnologias; em quais regiões estas tecnologias serão incorporadas considerando as condições climáticas específicas).

4. Resultados para o cenário de referência

As premissas descritas na seção anterior para o cenário de referência foram incorporadas no modelo BLUM para simulação deste cenário, cujos resultados para oferta e demanda para as lavouras e os produtos industriais derivados estão apresentados na Tabela 3. Importante ressaltar que as premissas incorporadas (revisão das curvas de produtividade e das premissas para o setor de energia) geraram resultados diferentes daqueles apresentados no Produto 1.

utilizada a variação percentual da produção entre 2010 e 2040 para o período projetado. Esta prática é comum para alinhar as premissas entre modelos, que partem de diferentes bases de dados.

5

Tabela 3 - Resultados para o cenário de referência: projeções para o setor agropecuário para 2040 (mil toneladas ou milhões de litros)

		2010	2015	2020	2025	2030	2040	2040-2010*	Cresc. Anual**
Grãos e oleaginosas	Produção	148,892	197,190	220,453	248,220	279,271	344,966	196,073	6,536
	Consumo Doméstico	113,835	130,787	143,809	158,968	175,713	211,337	97,502	3,250
	Exportações Líquidas	36,588	69,418	80,528	93,044	107,126	136,461	99,873	3,329
Farelo de soja	Produção	27,154	30,750	34,553	38,790	43,640	54,436	27,282	909
	Consumo Doméstico	12,944	16,280	18,857	21,721	24,977	32,714	19,770	659
	Exportações Líquidas	13,629	14,468	15,696	17,069	18,664	21,722	8,093	270
Óleo de soja	Produção	6,973	7,824	8,792	9,870	11,104	13,851	6,878	229
	Consumo Doméstico	5,187	5,922	6,514	7,058	7,698	9,098	3,911	130
	Para Biodiesel	2,098	2,553	3,024	3,362	3,813	3,903	1,806	60
	Exportações Líquidas	1,548	1,855	2,280	2,812	3,406	4,753	3,205	107
Açúcar	Produção	37,893	39,697	42,119	45,778	49,831	59,088	21,195	707
	Consumo Doméstico	10,659	12,061	12,639	13,535	14,453	16,526	5,866	196
	Exportações Líquidas	27,514	27,519	29,511	32,227	35,369	42,537	15,022	501
Etanol (milhões litros)	Produção	27,376	23,360	21,243	24,363	26,522	34,568	7,192	240
	Consumo Doméstico	25,501	21,154	19,037	22,158	24,317	32,363	6,861	229
	Exportações Líquidas	2,067	2,450	2,450	2,449	2,449	2,446	379	13
Carnes bovina, suína e frango	Produção	24,833	27,555	30,351	33,211	36,138	38,942	14,110	470
	Consumo Doméstico	18,801	20,411	21,980	23,676	25,311	27,767	8,966	299
	Exportações Líquidas	6,031	7,144	8,372	9,535	10,827	13,395	7,364	245
Leite	Produção	31,628	38,069	42,807	47,099	51,623	61,490	29,863	995
	Consumo Doméstico	38,691	38,860	43,276	47,291	51,536	60,802	22,111	737
	Exportações Líquidas	-3,534	-791	-469	-192	87	688	4,222	141

*Variação absoluta entre 2040 e 2010 (em mil toneladas ou milhões de litros).

**Variação absoluta entre 2040 e 2010 dividido em 30 anos – variação absoluta anual (em mil toneladas ou milhões de litros).

Fonte: resultados do estudo



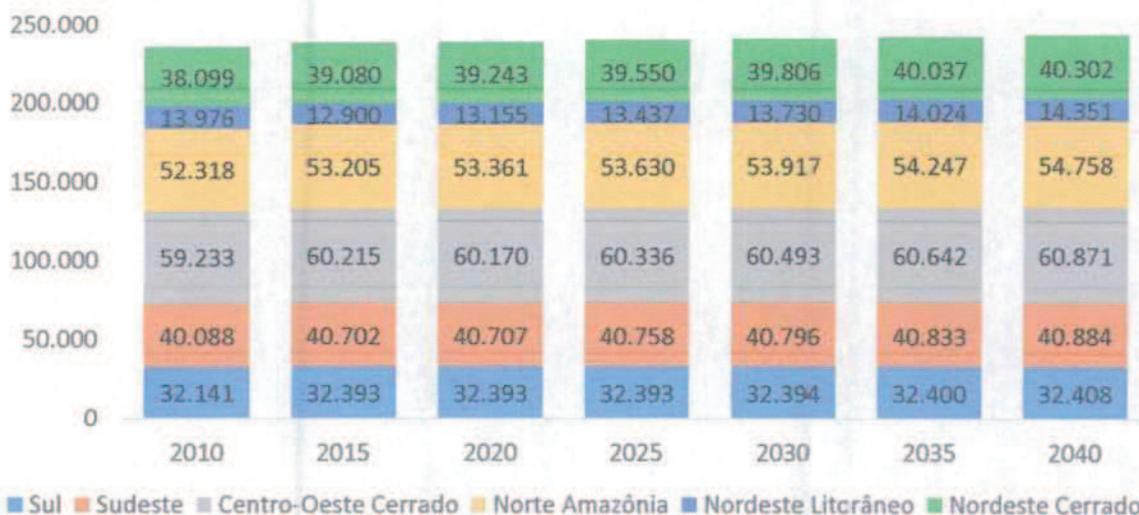
Os resultados da Tabela 3 (e considerando a interação entre os setores apresentados na Figura 2) mostram que a agropecuária brasileira continuará se expandindo em todo o período projetado, puxado tanto pelo consumo doméstico quanto pelas exportações. Entre 2010 e 2040 esperam-se as seguintes variações na produção:

- 132% para grãos e oleaginosas;
- 100% para farelo e óleo de soja;
- 56% para açúcar e 26% para etanol (cenário exógeno para consumo - COPPE);
- 57% para as carnes de frango, suína e bovina;
- 94% para a produção de leite.

Vale destacar que as taxas de crescimento anuais para o período projetado foram inferiores às observadas nos últimos dez anos, principalmente por não serem consideradas inovações tecnológicas, apenas adaptações de manejo para as lavouras. Outro fator deve-se à menor taxa de crescimento da economia mundial em relação à última década, resultando em menor crescimento das exportações (além do fato do Brasil ser o maior exportador mundial de produtos como carnes, soja e açúcar, por exemplo, não permitindo ganhos expressivos de participação no mercado internacional no futuro). Ainda assim, espera-se forte crescimento do agronegócio brasileiro até 2040 no cenário de referência.

Para o uso da terra, a Figura 3 mostra os resultados para a área alocada para a agropecuária por região ELUM.

Figura 3 – Resultados do cenário de referência para área alocada para agropecuária (em mil hectares)



Fonte: resultados do estudo



Para aumentar a produção esperada, a área de lavouras de primeira safra deverá aumentar em 13,9 milhões de hectares, grande parte substituindo pastagens de baixa tecnologia. A área de pastagens será reduzida em 14 milhões de hectares, sendo substituída por lavouras e florestas plantadas. Ainda assim, a agropecuária irá incorporar 7,7 milhões de hectares de novas áreas produtivas em 2040 em relação a 2010, sendo que 64% deste total deverá ser proveniente do bioma Cerrado (regiões do BLUM: Sudeste, Centro-Oeste Cerrado, Nordeste Cerrado).

5. Resultados do simulador SCENAGRI-Embrapa: dados de entrada no BLUM

A partir do simulador SCENAGRI-Embrapa foram gerados os resultados dos cenários RCP 4.5 e 8.5 simulados nos modelos climáticos HadGen2-ES e MIROC5, conforme descritos no Produto 4 (grupo da Embrapa). Por município, foram gerados resultados de restrição legal (critério 0 para alto risco ou 1 para baixo risco) para as lavouras de soja, milho 1ª e 2ª safras, arroz, feijão para safras de verão e de inverno, cana-de-açúcar, algodão, trigo e sorgo⁴.

De acordo com o Produto 2 desenvolvido pela Embrapa, o critério utilizado para indicar a aptidão de uma lavoura em um ponto qualquer no território (como município) é “a ocorrência do Índice de Satisfação de Necessidade de Água - ISNA maior ou igual ao mínimo em pelo menos 80% dos anos da série estudada”. Ou seja, sob uma interpretação simplificada, se houver 20% de probabilidade de quebra de safra para determinada lavoura a partir das condições climáticas consideradas para o período de 2011 a 2040, o município foi classificado como de alto risco climático, e não terá acesso aos programas de crédito à agricultura brasileira de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (MAPA, 2014).

Observou-se que, de acordo com os dados do IBGE (2012), que já existe atualmente área plantada sob a classificação de alto risco produtivo. A Tabela 4 resume a área atual (2012) em alto risco climático por lavoura para os cenários atual e simulados.

⁴ A lavoura de sorgo não faz parte das atividades analisadas na modelagem econômica, pois não há competição por terra para esta lavoura (por ser uma cultura de inverno) e por não afetar a demanda por terra.





Tabela 4 – Área plantada de 2012 classificadas como alto risco climático para cada cenário simulado, atual e para período de 2011-2040 (mil hectares)

Lavoura	Atual/Base	HadGen 4.5	HadGen 8.5	MIROC5 4.5	MIROC5 8.5
Soja	3.770	13.206	14.911	8.929	6.851
Milho 1ª safra	296	897	1.012	350	365
Milho 2ª safra	1.103	3.288	3.696	369	785
Arroz	9	88	162	41	30
Cana	15	230	264	15	15
Algodão	2	55	58	2	2
Trigo	141	490	513	98	210
Feijão verão	973	1.311	1.490	849	930
Feijão inverno	305	543	472	430	445

Fonte: SCENAGRI-Embrapa e resultados do estudo

Conforme descrito pela Embrapa no Produto 4 “Os resultados do aumento da temperatura e diminuição das chuvas do modelo MIROC5, de uma maneira geral, são menores que os do Hadgen2-ES, o que explica essas diferenças na expansão das áreas de alto risco. Portanto, ao se totalizar as reduções de áreas de baixo risco e compará-las entre os dois modelos, percebe-se que no HadGen2-ES elas são sempre maiores que as do Miroc5”.

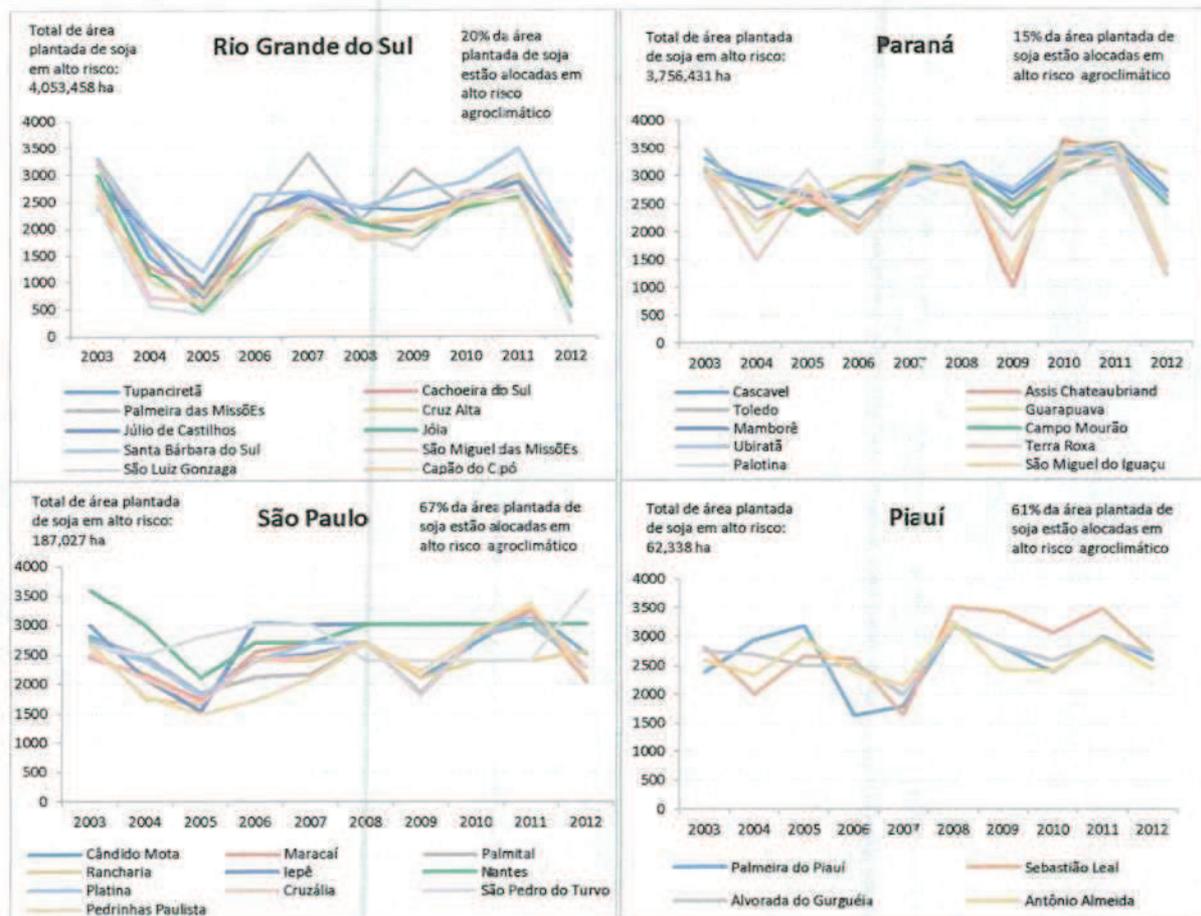
Os resultados apontam um aumento no número de municípios classificados como de alto risco agroclimático em todos os cenários climáticos simulados. Isso faz com que áreas atualmente em produção (IBGE, 2012) sejam negativamente afetadas pelas mudanças climáticas.

Observa-se também que a lavoura de soja possui a maior área atual sob alto risco e será a mais impactada nos cenários climáticos e em ambos os modelos HadGen e MIROC, conforme descrito no Produto 4.

Para confirmar as áreas classificadas atualmente como de “alto risco agroclimático”, a Figura 4 mostra o histórico de produtividade média observada nos municípios com tal classificação para soja, sendo analisado o período de 2003 a 2012.



Figura 4 – Produtividades médias dos municípios classificados como de alto risco climático (kg/ha)



Fonte: IBGE (2014)

Nos estados selecionados, o Rio Grande do Sul, o Paraná e São Paulo apresentaram maior número de municípios produzindo soja sob alto risco agroclimático em 2012. A área plantada com soja nestes municípios representam 20%, 15% e 67% do total de cada estado, respectivamente. Entretanto, a variação da produtividade é maior nos estados da região Sul, alcançando 85% de diferença entre as produtividades máxima e mínima. Nos estados de São Paulo e do Piauí, este diferencial é menor, porém o percentual da área plantada com soja sob alto risco é superior a 61% em ambos os estados.

Importante ressaltar que, neste estudo, as produtividades não serão diferenciadas nos cenários climáticos em relação ao cenário de referência para o período projetado até



2040, pois as restrições climáticas entrarão como impedimento à produção de cada lavoura, tendo estas as mesmas curvas de produtividades apresentadas para o cenário de referência. Conforme supracitado, a única forma de incorporar novas curvas de produtividades seria via novas tecnologias (como sementes adaptadas às restrições climáticas), mas incertezas em relação à disponibilidade ao longo do período projetado não permite aprofundamento desta análise até aqui. Entretanto, como medida de mitigação, poderá ser explorada no Produto 7 a partir de análises de especialistas e com as opções tecnológicas existentes ou em andamento.

Os dados da primeira coluna da Tabela 4, área plantada em 2012 classificada como alto risco climático para a lavoura, foram incorporados ao potencial “apto” à expansão de área plantada no BLUM para simular os cenários climáticos, pois considera-se que os produtores destes municípios continuarão tomando risco até 2040, acessando ou não o crédito agrícola. Os adicionais de áreas de alto risco nos cenários climáticos, entretanto, foram descontados da área apta a expansão de cada lavoura. Deste modo, a Tabela 5 traz a área total potencial por lavoura para cada cenário, agregado para o Brasil, somada a área plantada em 2012 classificada como alto risco agroclimático.

Tabela 5 – Área potencial considerada como apta à produção por lavoura (mil hectares)

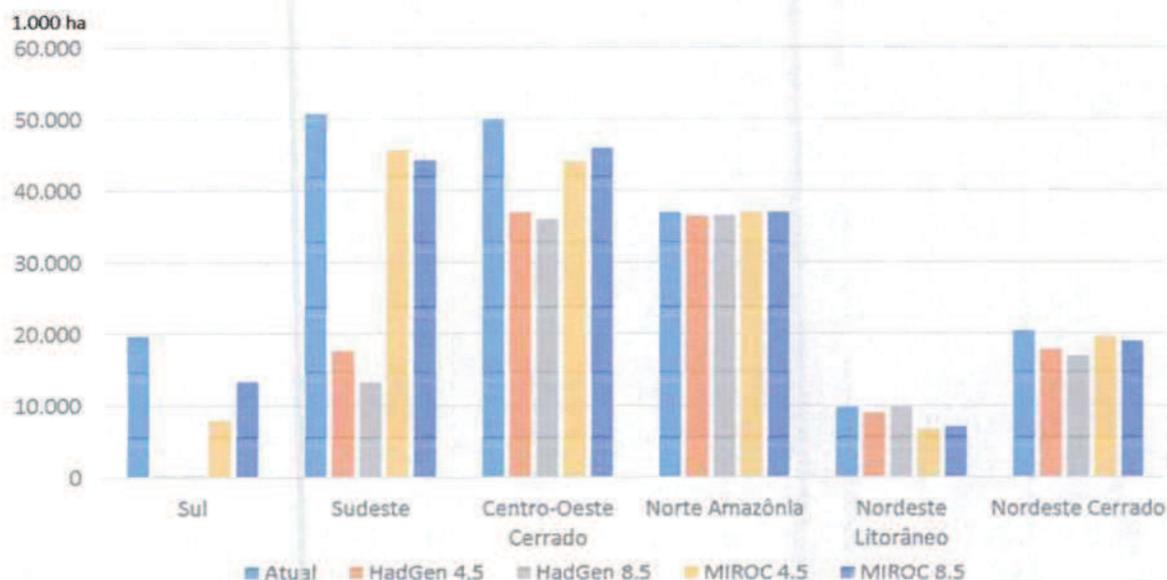
Lavoura	Atual/Base	HadGen 4.5	HadGen 8.5	MIROC5 4.5	MIROC5 8.5
Soja	187.604	118.321	112.935	161.593	167.139
Milho 1ª safra	223.575	187.738	187.604	220.709	220.455
Milho 2ª safra	176.701	128.900	125.257	190.500	177.906
Arroz	213.757	168.122	161.992	187.071	192.086
Cana	232.439	211.631	207.247	232.285	231.524
Algodão	228.210	203.744	197.601	227.041	226.820
Trigo	203.636	159.746	152.351	195.369	193.463
Feijão verão	201.612	148.404	140.211	195.745	195.272
Feijão inverno	183.173	134.738	136.717	168.069	161.769

Fonte: SCENAGRI-Embrapa e resultados do estudo

De acordo com os resultados da Tabela 5, apesar do elevado potencial de área para produção classificado como baixo risco produtivo para cada lavoura, é importante notar que o mesmo é reduzido ao incorporar os cenários climáticos, em especial para a soja. Além disso, os impactos regionais também são relevantes, conforme Figura 5.



Figura 5 – Área potencial apta (baixo risco) para produção de soja a partir dos cenários climáticos



Fonte: SCENAGRI-Embrapa (adaptado) e resultados do estudo

Entre as regiões mais afetadas negativamente destaca-se o Sul, que nos cenários simulados pelo HadGen-2S as áreas de baixo risco para produção de soja praticamente desapareceram em toda a região. Entretanto, para as projeções serão consideradas as áreas atualmente em alto risco para produção (3,8 milhões de hectares, conforme Tabela 4). Para as demais regiões, apesar dos impactos serem relevantes, ainda assim regiões como Norte-Amazônia, Nordeste Cerrado e Centro-Oeste Cerrado possuem juntos 90 milhões de hectares aptos para expansão de soja até 2040 em ambos os cenários simulados pelo HadGen-2S. Os resultados apresentados pelo modelo MIROC5 tiveram impactos negativos, porém menores do que o modelo anterior.

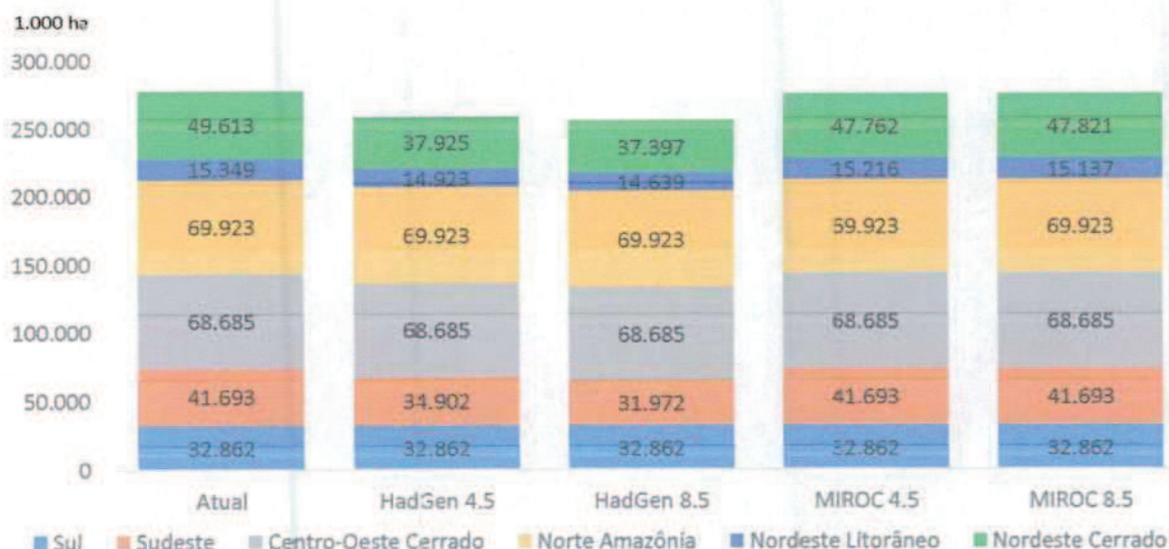
Além da restrição individual para a expansão de área de lavouras em cada região BLUM e microrregião, é necessário restringir o potencial de área alocada para agricultura (“efeito escala”), para captar os impactos sobre as áreas de pastagens não simuladas pela Embrapa. Utilizou-se como critério limitante para o potencial produtivo o máximo de área legal de baixo risco (conforme classificação da Embrapa detalhado no Produto 4) entre todas as lavouras de verão, pois partiu-se da premissa de que pastagens podem continuar sendo aptas à produção nas áreas sem restrições ambientais e legais. Combinou-se também a





restrição produtiva resultante da lavoura de arroz, por ser considerada a que mais se aproxima às necessidades hídricas e climáticas das pastagens. A Figura 6 resume os resultados para área total potencial para produção agropecuária.

Figura 6 – Área disponível potencial para produção agropecuária de baixo risco climático (mil hectares)



Fonte: SCENAGRI-Embrapa (adaptado) e resultados do estudo

Observa-se que a área disponível para produção agropecuária também foi afetada negativamente, em cada cenário climático considerado. Ambos os modelos se comportaram de forma semelhante aos impactos negativos sobre a aptidão das lavouras (novamente, cenários simulados no HadGen possuem maiores impactos negativos em termos absolutos comparados ao MIROC5).

Deste modo, no BLUM, os dados da Tabela 5 serão utilizados como restrição de área plantada total para cada lavoura ("efeito competição"). Os dados da Figura 6 irá restringir a alocação de área total para a agropecuária ("efeito escala").

Após incorporadas as restrições na modelagem econômica, serão avaliados os impactos sobre os produtos agropecuários por região. Espera-se que haverá realocação regional da produção para os produtos mais afetados pelo clima, assim como novos equilíbrios de preço e quantidade para cada cenário.

6. Considerações Finais



Este relatório apresentou a metodologia do estudo, os resultados para o cenário de referência para 2040 para o setor agropecuário brasileiro (sem incorporar as restrições climáticas) e os dados de entrada na modelagem econômica considerando as restrições dos cenários climáticos analisados. O Produto 7 irá apresentar os resultados dos cenários climáticos simulados na modelagem econômica.

A partir do cenário de referência, a agropecuária brasileira deverá apresentar crescimento expressivo até 2040, puxado pelo consumo doméstico e pelas exportações. Entretanto, o crescimento ao longo do período projeto deverá ser menor do que observado na última década, devido à desaceleração da economia mundial e à atual consolidação do Brasil com elevadas participações no comércio mundial nos principais produtos da pauta exportadora de commodities agrícolas.

Os impactos das mudanças climáticas sobre o potencial produtivo das lavouras são relevantes em todos os cenários analisados, em especial àqueles simulados pelo modelo HadGen. A ocorrência de veranicos mais intensos, o aumento da temperatura e a mudança na distribuição das chuvas explicam os impactos negativos das mudanças climáticas sobre o setor agropecuário brasileiro, que hoje é quase totalmente baseado em produção de sequeiro.

As mudanças climáticas deverão provocar os seguintes impactos:

- Aumento do risco agroclimático nas áreas plantadas em 2012 para quase todas as lavouras em todos os cenários apresentados;
- Redução do potencial produtivo de baixo risco agroclimático para o período projetado (até 2040);
- Impactos mais relevantes sobre a cultura de soja em todos os cenários apresentados até 2040;
- Impactos diferentes entre regiões, mais relevantes na região Sul do Brasil, importante produtor de grãos e oleaginosas;
- Alguns municípios devem deixar de produzir soja por já apresentarem alto risco climático;



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

- Diferenças de impactos importantes entre os modelos climáticos simulados, sendo que os maiores efeitos negativos sobre o setor agropecuário resultaram do modelo HadGen.

Apesar de importantes impactos negativos sobre as lavouras, ainda existe um potencial produtivo relevante para todo o setor, superior à demanda por área apresentado no cenário de referência para 2040. Entretanto, impactos regionais e locais não podem ser ignorados, além da necessidade de realocação produtiva para regiões de baixo risco agroclimático.

Espera-se que a simulação dos cenários climáticos apresentados na modelagem econômica apresente a seguinte dinâmica: a redução das áreas aptas para produção agropecuária deve afetar os preços das commodities agrícolas; as regiões de maior aptidão produtiva devem responder positivamente, enquanto outras regiões deverão perder produção; haverá impactos sobre os preços ao produtor e ao consumidor final; novos equilíbrios de oferta, demanda e preços serão gerados.

Deste modo, a própria dinâmica econômica deverá apresentar medidas de adaptação às restrições climáticas. Entretanto, políticas públicas devem ser voltadas para minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas sobre o setor agropecuário brasileiro, a produção e preços dos alimentos (podendo afetar a taxa de inflação) e ao poder aquisitivo da população. Impactos locais negativos também não podem ser ignorados pelo setor público, já que diversos municípios deverão perder produção de grãos, afetando a economia local.

Medidas de adaptação também deverão ser analisadas pelas políticas públicas. Entre elas, conforme citado, é a inovação tecnológica, capaz de introduzir novas variedades de sementes resistentes a períodos de seca mais longos e aos eventos extremos. Entretanto, só será possível analisar esta medida de adaptação se houver perspectivas atuais para novas tecnologias e se a adoção de tecnologia for previamente conhecida, assim como seus impactos sobre os custos de produção.

Para contornar os veranicos, que afetarão as lavouras atualmente na região Sul do Brasil, a incorporação de irrigação como prática de manejo pode ser uma opção de adaptação. Entretanto, a disponibilidade hídrica, os custos de produção (e redução de



competitividade em relação às lavouras de sequeiro) e a infraestrutura necessária podem ser restritivas em adotar esta prática de manejo.

Assim, uma análise mais completa das possíveis medidas de adaptação e das políticas públicas voltadas ao setor agropecuário se faz necessária. Para tal, será necessário consultar especialistas sobre os temas levantados e espera-se que esta análise seja realizada no Produto 7.

Referências Bibliográficas

Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Nassar, A. M.; Harfuch, L.; Freitas, S.; Farinelli, B.; Lundell, M.; Bachion, L. C.; Fernandes, E. C. M. (2013). Impactos das Mudanças Climáticas na Agropecuária Brasileira. Washington, Banco Mundial, 116 p.

BACEN – Banco Central do Brasil. Boletim Focus – Relatório de Mercado (publicado em 08/08/2014). Brasília, Bacen, 4 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão Territorial Brasileira em 2006. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/territorio/download/default.asp?z=t&o=4>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal – PAM 2012. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=p&o=28>

ICONE – Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais. 2014. Modelo de Uso da Terra para a Agricultura Brasileira – BLUM. Disponível em: http://www.iconebrasil.com.br/datafiles/publicacoes/estudos/2012/descricao_blum_modelo_de_uso_da_terra_para_a_agricultura_brasileira_0106.pdf

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. WGII AR5: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Summary for Policymakers, 2014. Available at: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_SPMcorr1.pdf

Margulis, S e Dubeux C. B. S.(2010) Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. IBEP Gráfica, São Paulo. 82 p.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso em: 15 dez. 2014.



FUNDAÇÃO ELISEU ALVES

MME – Ministério de Minas e Energia e EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Cenário Econômico 2050. 2014. Rio de Janeiro, Estudos Econômicos, Nota Técnica 12/14, 125 p.

Nassar, A. M.; Antoniazzi, L. B.; Moreira, M. R.; Chiodi, L.; Harfuch, L. 2010a. An Allocation Methodology to Assess GHG Emissions Associated with Land Use Change: Final Report. ICONE, Setembro 2010. Disponível em:
<<http://www.iconebrasil.org.br/arquivos/noticia/2107.pdf>>.

ONU – Organização das Nações Unidas. 2011. World Population Prospects: The 2010 Revision. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011), CD-ROM Edition. Available at: <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>



Claudio Humberto Amancio
Gerente de Projetos